

В.И. ДИКАРЕВ

С ПРАВОЧНИК

ИЗО

БРЕТА

ТЕЛЯ



*В. И. ДИКАРЕВ*

# СПРАВОЧНИК ИЗОБРЕТАТЕЛЯ



Санкт-Петербург  
1999

В. И. Дикарев.

Д 45 Справочник изобретателя. Серия «Учебники для вузов. Специальная литература». — СПб.: Издательство «Лань», 1999. — 352 с.

ISBN 5-8114-0203-1

Справочник изобретателя состоит из двух частей.

В первой части рассмотрены требования, предъявляемые к изобретению и полезной модели в соответствии с Патентным Законом Российской Федерации. Приведены и прокомментированы признаки, характеризующие объекты изобретений и полезных моделей. Рассмотрены факторы, которые следует учитывать при выборе объекта защиты, и условия патентоспособности изобретений. Изложены правила составления и подачи заявки на изобретение и полезную модель.

Вторая часть посвящена некоторым физическим эффектам и явлениям, которые являются фундаментальной базой для разработки изобретений. В ней приведены и прокомментированы примеры технических решений, при создании которых были использованы известные физические эффекты и явления.

Справочник предназначен для изобретателей, инженеров, студентов и может быть полезен научным работникам.

ББК 67.99(2)3я2

Оформление обложки

С. Л. Шапиро, А. А. Олексенко

**Охраняется законом РФ об авторском праве.  
Воспроизведение всей книги или любой ее части  
запрещается без письменного разрешения издателя.  
Любые попытки нарушения закона будут  
преследоваться в судебном порядке**

© Издательство «Лань», 1999

© В. И. Дикарев, 1999

© Издательство «Лань»,

художественное оформление, 1999

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	14
Введение . . . . .	16

## Часть I. Правовые основы изобретений

1. Необходимость и целесообразность патентования изобретений	24
2. Выявление изобретений . . . . .	26
2.1. Объекты изобретений . . . . .	27
2.2. Установление сущности изобретения . . . . .	29
2.3. Выбор объекта патентной защиты . . . . .	30
2.4. Формулировка существенных признаков . . . . .	32
2.5. Единство изобретения . . . . .	33
2.6. Условия патентоспособности изобретений . . . . .	34
2.6.1. Промышленная применимость . . . . .	34
2.6.2. Понятие «уровень техники» . . . . .	35
2.6.3. Новизна . . . . .	37
2.6.4. Изобретательский уровень . . . . .	39
2.7. Полезная модель . . . . .	41
3. Оформление и подача заявки на изобретение и полезную модель	42
3.1. Порядок подачи заявки на изобретение и полезную модель	42
3.2. Состав документов заявки на изобретение и полезную модель	43
3.3. Заявление о выдаче патента на изобретение . . . . .	45
3.4. Описание изобретения . . . . .	47
3.4.1. Структура описания изобретения . . . . .	47
3.4.2. Название изобретения . . . . .	48
3.4.3. Область техники, к которой относится изобретение .	50
3.4.4. Уровень техники . . . . .	50
3.4.5. Сущность изобретения . . . . .	51
3.4.6. Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения . . . . .	52
3.5. Особенности объектов изобретения . . . . .	53
3.5.1. Устройство как объект изобретения . . . . .	53
3.5.2. Способ как объект изобретения . . . . .	54
3.5.3. Вещество как объект изобретения . . . . .	56



3.5.4. Штамм микроорганизма, культура клеток растений или животных . . . . .	57
3.5.5. Применение устройства, способа и вещества по новому назначению . . . . .	57
3.6. Формула изобретения . . . . .	59
3.6.1. Значение формулы изобретения и требования, предъявляемые к ней . . . . .	59
3.6.2. Структура формулы изобретения . . . . .	61
3.6.3. Особенности формулы изобретения в зависимости от вида объекта . . . . .	62
3.7. Чертежи и иные материалы . . . . .	64
3.8. Реферат . . . . .	65
3.9. Документ, подтверждающий уплату пошлины . . . . .	66
3.10. Доверенность . . . . .	67
3.11. Требования к документам заявки на полезную модель . . . . .	67
3.12. Ведение дел по получению патента с Патентным ведомством . . . . .	68
4. Патентные исследования . . . . .	71
4.1. Международная классификация изобретений . . . . .	71
4.2. Источники патентной информации . . . . .	72
5. Положение о пошлинах за патентование изобретений и полезных моделей . . . . .	76

## Часть II. Научные основы изобретений

1. Как рождаются Галактики . . . . .	84
1.1. Исходные положения в проблеме образования Галактик . . . . .	84
1.2. Сходство и различие между мегамиром и микромиром . . . . .	85
1.3. Горячая расширяющаяся Вселенная . . . . .	86
1.4. Гравитационная неустойчивость . . . . .	86
2. Пыль и газ в нашей Галактике . . . . .	87
2.1. Межзвездная пыль . . . . .	87
2.2. Избирательное ослабление света . . . . .	87
2.3. Межзвездная поляризация излучения звезд . . . . .	88
2.4. Природа межзвездных частиц . . . . .	88
2.5. Межзвездный газ . . . . .	88
2.6. Межзвездные молекулярные «полосы» . . . . .	89
3. Биогеофизика и радиоэлектроника на страже биосферы . . . . .	90
3.1. Открытая система организма . . . . .	90
3.2. Биологическое действие электромагнитных волн . . . . .	90
3.3. Геофизика и биологические ритмы . . . . .	91
3.4. Предположительные механизмы воздействий . . . . .	91
3.5. Система экологического контроля . . . . .	92
4. Прогнозирование и преобразование погоды . . . . .	94
4.1. Прогноз погоды . . . . .	94
4.2. Преобразование погоды . . . . .	95
4.3. Преобразование климата . . . . .	95
5. Глобальная тектоника . . . . .	96
5.1. Явления, предшествующие землетрясениям . . . . .	96
5.1.1. Световые и шумовые явления . . . . .	97

5.1.2. Электромагнитные явления . . . . .	97
5.1.3. Атмосферный электрический потенциал . . . . .	98
5.1.4. Биологические явления . . . . .	98
5.2. Явления, предшествующие извержению вулканов . . . . .	99
5.2.1. Изменение наклона земной поверхности . . . . .	99
5.2.2. Газы и пары . . . . .	100
5.2.3. Изменение магнитного поля земли . . . . .	100
5.2.4. Вулканические извержения . . . . .	100
6. Механические эффекты . . . . .	101
6.1. Силы инерции . . . . .	101
6.1.1. Инерциальные напряжения . . . . .	101
6.1.2. Центробежные силы . . . . .	102
6.1.3. Момент инерции . . . . .	102
6.1.4. Гироскопический эффект . . . . .	104
6.2. Гравитация . . . . .	105
6.3. Трение . . . . .	106
6.3.1. Явление аномального низкого трения . . . . .	107
6.3.2. Эффект безызносности . . . . .	108
6.3.3. Эффект Джонсона-Рабека . . . . .	108
7. Деформация . . . . .	110
7.1. Общая характеристика . . . . .	110
7.1.1. Связь электропроводности с деформацией . . . . .	111
7.1.2. Электропластический эффект . . . . .	111
7.1.3. Фотопластический эффект . . . . .	112
7.1.4. Эффект Баушингера . . . . .	113
7.1.5. Эффект Пойнтинга . . . . .	113
7.1.6. Дислокационно-динамическая диффузия . . . . .	114
7.1.7. Связь удельной энергии . . . . .	115
7.1.8. Связь энергоплотности . . . . .	115
7.1.9. Явление скачкообразного освобождения . . . . .	115
7.1.10. Эффект разделения частиц . . . . .	116
7.2. Передача энергии при ударах. Эффект Александра . . . . .	116
7.3. Эффект радиационного распухания металла . . . . .	117
7.4. Сплавы с памятью . . . . .	118
8. Молекулярные явления . . . . .	120
8.1. Тепловое расширение вещества . . . . .	120
8.1.1. Силы теплового расширения . . . . .	120
8.1.2. Получение высокого давления . . . . .	121
8.1.3. Разностные эффекты . . . . .	121
8.1.4. Точность теплового расширения . . . . .	122
8.2. Фазовые переходы. Агрегатные состояния веществ . . . . .	122
8.2.1. Эффект сверхпластичности . . . . .	124
8.2.2. Изменение плотности и модуля упругости при фазовых переходах . . . . .	125
8.3. Поверхностное натяжение жидкостей. Капиллярность . . . . .	126
8.3.1. Поверхностная энергия . . . . .	126
8.3.2. Смачивание . . . . .	126
8.3.3. Автофобность . . . . .	127
8.3.4. Капиллярное давление, испарение и конденсация . . . . .	128
8.3.5. Эффект капиллярного подъема (опускания) . . . . .	128
8.3.6. Ультразвуковой капиллярный эффект . . . . .	129
8.3.7. Термокапиллярный эффект . . . . .	129
8.3.8. Электрокапиллярный эффект . . . . .	130

8.3.9. Капиллярный полупроводник . . . . .	130
8.4. Сорбция . . . . .	130
8.4.1. Капиллярная конденсация . . . . .	131
8.4.2. Фотоадсорбционный эффект . . . . .	131
8.4.3. Влияние электрического поля на адсорбцию . . . . .	132
8.4.4. Адсорблوميесценция . . . . .	132
8.4.5. Радикало-рекомбинационная люминесценция . . . . .	132
8.4.6. Адсорбционная эмиссия . . . . .	133
8.4.7. Влияние адсорбции на электропроводность полупроводника . . . . .	133
8.5. Диффузия . . . . .	134
8.5.1. Эффект Дюфора . . . . .	134
8.6. Осмос . . . . .	135
8.6.1. Электроосмос . . . . .	136
8.6.2. Обратный осмос . . . . .	136
8.7. Теплообмен . . . . .	137
8.7.1. Тепловые трубы . . . . .	138
8.8. Молекулярные цеолитовые сита . . . . .	139
8.8.1. Цветовые эффекты в цеолитах . . . . .	140
9. Гидравлические эффекты . . . . .	142
9.1. Гидростатика. Гидроаэродинамика . . . . .	142
9.1.1. Закон Архимеда . . . . .	142
9.1.2. Закон Паскаля . . . . .	144
9.1.3. Явление объемной релаксации . . . . .	144
9.2. Течение жидкости и газа . . . . .	144
9.2.1. Ламинарность и турбулентность . . . . .	144
9.2.2. Закон Бернулли . . . . .	145
9.2.3. Вязкость . . . . .	146
9.2.4. Вязкоэлектрический эффект . . . . .	147
9.3. Явление сверхтекучести . . . . .	148
9.3.1. Сверхтеплопроводность . . . . .	148
9.3.2. Термомеханический эффект . . . . .	148
9.3.3. Механокалорический эффект . . . . .	149
9.3.4. Перенос по пленке . . . . .	149
9.4. Явление сопротивления . . . . .	150
9.4.1. Эффект Томса . . . . .	150
9.4.2. Скачок уплотнения . . . . .	151
9.4.3. Эффект Коанда . . . . .	151
9.4.4. Эффект воронки . . . . .	151
9.5. Эффект Магнуса . . . . .	152
9.6. Дросселирование жидкостей и газов . . . . .	153
9.6.1. Эффект Джоуля-Томсона . . . . .	153
9.7. Гидравлические удары . . . . .	154
9.7.1. Электрогидравлический удар . . . . .	155
9.7.2. Светогидравлический удар . . . . .	156
9.8. Кавитация . . . . .	157
9.8.1. Гидродинамическая кавитация . . . . .	157
9.8.2. Акустическая кавитация . . . . .	159
9.8.3. Сонолюминесценция . . . . .	161
10. Колебания и волны . . . . .	162
10.1. Механические колебания . . . . .	162
10.1.1. Свободные колебания . . . . .	162
10.1.2. Вынужденные колебания . . . . .	163
10.1.3. Явление резонанса . . . . .	164

10.1.4. Автоколебания . . . . .	164
10.2. Акустика . . . . .	165
10.2.1. Явление реверберации . . . . .	166
10.3. Ультразвук . . . . .	167
10.3.1. Пластическая деформация и упрочение . . . . .	168
10.3.2. Влияние ультразвука на физико-химические свойства металлических сплавов . . . . .	168
10.3.2.1. Вязкость . . . . .	
10.3.2.2. Поверхностное натяжение . . . . .	
10.3.2.3. Температура . . . . .	
10.3.2.4. Диффузия . . . . .	
10.3.2.5. Дегазационный эффект . . . . .	
10.3.3. Ультразвуковой капиллярный эффект . . . . .	170
10.3.4. Акустимагнитоэлектрический эффект . . . . .	171
10.3.5. Неразрушающий ультразвуковой контроль материалов и изделий . . . . .	172
10.4. Волновое движение . . . . .	172
10.4.1. Стоячие волны . . . . .	173
10.4.2. Эффект Доплера-Физо . . . . .	174
10.4.3. Поляризация . . . . .	175
10.4.4. Дифракция . . . . .	176
10.4.5. Интерференция . . . . .	177
10.4.6. Голография . . . . .	178
10.4.7. Дисперсия волн . . . . .	180
11. Электромагнитные явления . . . . .	182
11.1. Взаимодействие тел . . . . .	182
11.1.1. Закон Кулона . . . . .	182
11.2. Индуцированные заряды . . . . .	183
11.3. Втягивание диэлектрика в конденсатор . . . . .	183
11.4. Закон Джоуля-Ленца . . . . .	184
11.5. Проводимость металлов . . . . .	184
11.5.1. Влияние фазовых переходов . . . . .	184
11.5.2. Влияние высоких давлений . . . . .	184
11.5.3. Влияние состава . . . . .	185
11.6. Сверхпроводимость . . . . .	185
11.6.1. Критические значения параметров . . . . .	186
11.7. Электромагнитное поле . . . . .	186
11.7.1. Магнитная индукция. Сила Лоренца . . . . .	187
11.7.2. Движение зарядов в магнитном поле . . . . .	187
11.8. Проводник с током в магнитном поле . . . . .	188
11.8.1. Взаимодействие проводников с током . . . . .	189
11.9. Электродвижущая сила индукции . . . . .	189
11.9.1. Взаимная индукция . . . . .	190
11.9.2. Самоиндукция . . . . .	190
11.10. Индукционные токи . . . . .	190
11.10.1. Токи Фуко . . . . .	191
11.10.2. Механическое действие токов Фуко . . . . .	191
11.10.3. Магнитное поле вихревых токов. Эффект Майснера . . . . .	192
11.10.4. Подвеска в магнитном поле . . . . .	192
11.11. Электромагнитные волны . . . . .	193
11.11.1. Излучение движущегося заряда . . . . .	193
11.11.2. Эффект Вавилова-Черенкова . . . . .	194
11.11.3. Бетатронное излучение . . . . .	194
11.12. Эффекты и явления распространения радиоволн . . . . .	195
11.12.1. Явление вторичного излучения . . . . .	195

11.12.2. Активный ответ . . . . .	196
11.12.3. Фазовая скорость . . . . .	197
11.12.4. Рефракция радиоволн. Эффект Кабанова . . . . .	198
11.12.5. Эффект Доплера-Белопольского . . . . .	199
11.12.6. Эффект вращающегося винта . . . . .	199
11.12.7. Эффект синтизирования апертуры . . . . .	200
11.12.8. Эффект Фарадея . . . . .	200
11.12.9. Поляризационные эффекты . . . . .	201
11.12.10. Эффект «слепых» скоростей . . . . .	202
11.12.11. Эффект многолучевого характера распространения радиоволн . . . . .	202
11.12.12. Явление резонанса . . . . .	203
11.13. Эффекты и явления, связанные с обработкой сигналов . . . . .	204
11.13.1. Классификация сигналов . . . . .	204
11.13.2. Эффекты энергетической и структурной скрытности сложных сигналов . . . . .	204
11.13.3. Эффект свертки спектра сложных сигналов . . . . .	205
11.13.4. Эффект структурной селекции . . . . .	206
11.13.5. Эффект «ударной» радиолокации . . . . .	207
11.13.6. Эффект Стокса . . . . .	207
11.13.7. Эффект комплексного спектра . . . . .	208
11.13.8. Явление «обратной работы» . . . . .	209
11.14. Эффекты, связанные с акустооптической обработкой сигналов . . . . .	211
11.14.1. Упругооптический эффект . . . . .	212
11.14.2. Эффект Рамана-Ната . . . . .	212
11.14.3. Эффект Вульфа-Брэгга . . . . .	213
11.14.4. Эффект «просвечивания» . . . . .	214
11.14.5. Эффект взаимодействия . . . . .	214
11.14.6. Эффект двухкоординатной акустооптической обработки сигналов . . . . .	215
11.15. Эффекты, связанные с акустоэлектронной обработкой сигналов . . . . .	216
11.15.1. Приборы на поверхностных акустических волнах . . . . .	216
11.15.2. Приборы с переносом заряда . . . . .	216
11.16. Эффекты образования дополнительных каналов приема . . . . .	217
11.17. Структурный пеленгационный эффект . . . . .	218
11.18. Эффект прямого угла . . . . .	220
12. Электрические свойства вещества . . . . .	222
12.1. Диэлектрики . . . . .	222
12.1.1. Изоляторы и полупроводники . . . . .	222
12.1.2. Сопротивление электрическому току . . . . .	222
12.1.3. Тепловые потери . . . . .	223
12.2. Диэлектрическая проницаемость . . . . .	224
12.2.1. Частотная зависимость . . . . .	224
12.3. Пробой диэлектриков . . . . .	224
12.4. Электромеханические эффекты в диэлектриках . . . . .	225
12.4.1. Электрострикция . . . . .	225
12.4.2. Пьезоэлектрический эффект . . . . .	225
12.4.3. Обратный пьезоэффект . . . . .	225
12.5. Пьезоэлектрики . . . . .	226
12.5.1. Сегнетоэлектрики . . . . .	226
12.5.2. Сегнетоэлектрическая температура Кюри . . . . .	227
12.5.3. Антисегнетоэлектрики . . . . .	228
12.5.4. Сегнетоферромагнетики . . . . .	228

12.6. Влияние электрического поля и механических напряжений на сегнетоэлектрический эффект . . . . .	228
12.6.1. Сдвиг температуры Кюри . . . . .	228
12.6.2. Аномалии свойств при фазовых переходах . . . . .	229
12.6.3. Пирозэффект в сегнетоэлектриках . . . . .	229
12.7. Электреты . . . . .	230
13. Магнитные свойства вещества . . . . .	231
13.1. Магнетики . . . . .	231
13.1.1. Диамагнетики . . . . .	231
13.1.2. Парамагнетики . . . . .	231
13.1.3. Точка Кюри . . . . .	233
13.1.4. Антиферромагнетики . . . . .	233
13.1.5. Точка Нееля . . . . .	234
13.1.6. Температурный магнитный гистерезис . . . . .	234
13.1.7. Ферромагнетизм . . . . .	234
13.1.8. Суперпарамагнетизм . . . . .	235
13.1.9. Пьезомагнетики . . . . .	235
13.1.10. Магнитоэлектрики . . . . .	235
13.2. Магнитокалорический эффект . . . . .	236
13.3. Магнитострикция . . . . .	236
13.3.1. Термострикция . . . . .	236
13.4. Магнитоэлектрический эффект . . . . .	237
13.5. Гиромагнитные явления . . . . .	237
13.6. Магнитоакустический эффект . . . . .	238
13.7. Ферромагнитный резонанс . . . . .	238
13.8. Аномалия свойств при фазовых переходах . . . . .	239
14. Контактные, термоэлектрические и эмиссионные явления . . . . .	240
14.1. Контактная разность потенциалов . . . . .	240
14.1.1. Трибоэлектричество . . . . .	240
14.1.2. Вентильный эффект . . . . .	241
14.2. Термоэлектрические явления . . . . .	241
14.2.1. Эффект Зеебека . . . . .	241
14.2.2. Эффект Пельтье . . . . .	243
14.2.3. Явление Томсона . . . . .	243
14.2.4. Эффект «глубокой дезактивации» . . . . .	243
14.3. Электронная эмиссия . . . . .	244
14.3.1. Автоэлектронная эмиссия . . . . .	244
14.3.2. Эффект Мольера . . . . .	245
14.3.3. Туннельный эффект . . . . .	245
15. Гальвано- и термомагнитные явления . . . . .	247
15.1. Гальваномагнитные явления . . . . .	247
15.1.1. Эффект Холла . . . . .	247
15.1.2. Эффект Эттингсгаузена . . . . .	248
15.1.3. Магнитосопротивление . . . . .	248
15.1.4. Эффект Томсона . . . . .	249
15.2. Термомагнитные явления . . . . .	249
15.2.1. Эффект Риге-Людега . . . . .	249
15.2.2. Продольные эффекты . . . . .	249
15.2.3. Электронный фототермомагнитный эффект . . . . .	249
16. Электрические разряды в газах . . . . .	251
16.1. Факторы, влияющие на газовый разряд . . . . .	251
16.1.1. Потенциал ионизации . . . . .	252

16.1.2. Фотоионизация атомов . . . . .	252
16.1.3. Поверхностная ионизация . . . . .	252
16.1.4. Применение ионизации . . . . .	252
16.2. Высокочастотный тороидальный разряд . . . . .	252
16.3. Роль среды и электродов . . . . .	253
16.4. Тлеющий разряд . . . . .	253
16.5. Страты . . . . .	253
16.6. Коронный разряд . . . . .	253
16.7. Дуговой разряд . . . . .	254
16.8. Искровой разряд . . . . .	255
16.9. Факельный разряд . . . . .	255
16.10. «Стекание» зарядов с острия . . . . .	256
16.11. Плазма . . . . .	256
17. Электрокинетические явления . . . . .	258
17.1. Электроосмос . . . . .	258
17.2. Обратный эффект . . . . .	258
17.3. Электрофорез . . . . .	258
17.4. Обратный эффект . . . . .	259
17.6. Электрокапиллярные явления . . . . .	259
18. Свет и вещество . . . . .	260
18.1. Видимое, УФ и ИК-излучения . . . . .	260
18.2. Световое давление . . . . .	261
18.3. Отражение и поглощение света . . . . .	263
18.3.1. Полное внутреннее отражение . . . . .	264
18.4. Поглощение и рассеяние света . . . . .	265
18.4.1. Эффект Мандельштам-Ландсберга-Рамана . . . . .	267
18.5. Испускание и поглощение света . . . . .	267
18.5.1. Оптико-акустический эффект . . . . .	268
18.5.2. Спектральный анализ . . . . .	269
18.5.3. Спектры испускания . . . . .	270
18.5.4. Вынужденное излучение . . . . .	271
18.5.5. Инверсия населенности . . . . .	271
18.5.6. Лазеры и их применение . . . . .	271
19. Фотоэлектрические и фотохимические явления . . . . .	274
19.1. Фотоэлектрические явления . . . . .	274
19.1.1. Фотоэффект . . . . .	274
19.1.2. Эффект Дембера . . . . .	275
19.1.3. Фотопьезоэлектрический эффект . . . . .	276
19.1.4. Эффект Кикоина-Носкова . . . . .	276
19.2. Фотохимические явления . . . . .	276
19.2.1. Фотохромный эффект . . . . .	278
19.2.2. Фотоферроэлектрический эффект . . . . .	279
20. Люминесценция . . . . .	280
20.1. Люминесценция, возбуждаемая электромагнитным излучением . . . . .	281
20.1.1. Фотолюминесценция . . . . .	281
20.1.2. Антистоксовские люминофоры . . . . .	281
20.1.3. Рентгенолюминесценция . . . . .	281
20.2. Люминесценция, возбуждаемая корпускулярным излучением . . . . .	282
20.2.1. Катодолюминесценция . . . . .	282
20.2.2. Ионолюминесценция . . . . .	282
20.2.3. Радиолюминесценция . . . . .	282



20.3. Люминесценция, возбуждаемая электрическим полем . . .	282
20.3.1. Электролюминесценция . . . . .	282
20.3.2. Инжекционная электролюминесценция . . . . .	283
20.4. Хемилюминесценция . . . . .	284
20.4.1. Радиокаллолюминесценция . . . . .	284
20.4.2. Кандолюминесценция . . . . .	284
20.5. Механолюминесценция . . . . .	284
20.6. Радиотермолюминесценция . . . . .	285
20.7. Стимуляция люминесценции . . . . .	285
20.8. Тушение люминесценции . . . . .	286
20.9. Поляризационная люминесценция . . . . .	286
<b>21. Анизотропия и свет . . . . .</b>	<b>288</b>
21.1. Двойное лучепреломление . . . . .	288
21.2. Механооптические явления . . . . .	289
21.1.1. Фотоупругость . . . . .	289
21.2.1. Эффект Максвелла . . . . .	290
21.3. Электрооптические явления . . . . .	291
21.3.1. Эффект Керра . . . . .	291
21.3.2. Эффект Погкельса . . . . .	292
21.4. Магнитооптические явления . . . . .	293
21.4.1. Эффект Фарадея . . . . .	293
21.4.2. Обратный эффект . . . . .	295
21.4.3. Магнитооптический эффект Керра . . . . .	295
21.4.4. Эффект Коттона-Мутона . . . . .	295
21.4.5. Прямой и обратный эффекты Зеемана . . . . .	295
21.5. Фотодихроизм . . . . .	296
21.5.1. Дихроизм . . . . .	296
21.5.2. Естественная оптическая активность . . . . .	297
21.6. Поляризация при рассеянии света . . . . .	298
<b>22. Эффекты нелинейной оптики . . . . .</b>	<b>299</b>
22.1. Вынужденное рассеяние света . . . . .	299
22.2. Генерация оптических гармоник . . . . .	301
22.3. Параметрическая генерация света . . . . .	301
22.4. Эффект насыщения . . . . .	302
22.5. Многофотонное поглощение . . . . .	302
22.5.1. Многофотонный фотоэффект . . . . .	303
22.6. Эффект самофокусировки . . . . .	303
22.7. Светогидравлический удар . . . . .	304
22.8. Гистерезисные скачки . . . . .	305
<b>23. Силикаты сегодня и завтра . . . . .</b>	<b>307</b>
23.1. Новые сорта бетона . . . . .	307
23.2. Разработки в области стекла . . . . .	308
23.3. Новый облик керамической промышленности . . . . .	309
23.4. Новые технологии в жилищном домостроении . . . . .	309
<b>24. Химическая бионика . . . . .</b>	<b>312</b>
24.1. Химическое равновесие . . . . .	312
24.2. Синтез с помощью живых организмов . . . . .	312
24.3. Имобилизованные ферменты . . . . .	313
24.3.1. Модели зрительных ферментов . . . . .	313
24.4. Энергетика живых организмов . . . . .	313
24.4.1. Матричный эффект молекулы фермента . . . . .	313
24.4.2. Энергетика животного мира . . . . .	313

24.4.3. Мышечная работа . . . . .	314
23.4.4. Солнечная энергия . . . . .	314
24.5. Химические комплексные катализаторы . . . . .	314
25. Новые пути медицины . . . . .	316
25.1. Реакция ферментативного переминарования аминокислот . . . . .	316
25.2. Генетическая роль нуклеиновых кислот . . . . .	316
25.3. Проблема вирулентности бактерий . . . . .	316
25.4. Метод электрорентгенографии . . . . .	317
25.5. Процесс «обновления» клинической медицины . . . . .	317
26. Явления микромира . . . . .	321
26.1. Радиоактивность . . . . .	321
26.2. Рентгеновское и гамма-излучение . . . . .	322
26.2.1. Адгезолюминесценция . . . . .	322
26.2.2. Астеризм . . . . .	322
26.3. Взаимодействие рентгеновского и гамма-излучений . . . . .	323
26.3.1. Фотоэффект . . . . .	323
26.3.2. Рассеяние рентгеновского и гамма-излучения . . . . .	324
26.3.3. Эффект образования пар . . . . .	325
26.4. Взаимодействие электронов с веществом . . . . .	325
26.4.1. Упругое рассеяние . . . . .	325
26.4.2. Неупругое рассеяние . . . . .	326
26.4.3. Тормозное излучение . . . . .	327
26.4.4. Совместное действие облучения электронами и светом . . . . .	327
26.5. Взаимодействие нейтронов с веществом . . . . .	327
26.5.1. Нейтронное распухание . . . . .	328
26.6. Взаимодействие альфа-частиц с веществом . . . . .	328
26.6.1. Эффект увеличения коррозионной стойкости металлов . . . . .	329
26.7. Радиотермолюминесценция . . . . .	330
26.8. Эффект Мессбауэра . . . . .	331
26.8.1. Электронный парамагнитный резонанс . . . . .	332
26.9. Ядерный магнитный резонанс . . . . .	333
26.10. Эффект Оверхаузера-Абрагама . . . . .	334
27. Некоторые другие эффекты и явления . . . . .	335
27.1. Термофорез . . . . .	335
27.2. Фотофорез . . . . .	336
27.2.1. Перпендикулярный фотофорез . . . . .	336
27.3. Стробоскопический эффект . . . . .	336
27.4. Муаровый эффект . . . . .	337
27.4.1. Контроль размеров . . . . .	338
27.4.2. Выявление дефектов . . . . .	338
27.4.3. Конусные шкалы . . . . .	338
27.4.4. Измерение параметров оптических сред . . . . .	339
27.4.5. Контроль оптических деталей . . . . .	339
27.5. Высокодисперсионные структуры . . . . .	340
27.5.1. Консолидирование тела . . . . .	341
27.6. Электрореологический эффект . . . . .	341
27.7. Реоэлектрический эффект . . . . .	342
27.8. Жидкие кристаллы . . . . .	343
27.8.1. Электрооптические эффекты . . . . .	344
27.8.2. Динамическое рассеяние . . . . .	344
27.8.3. Управление окраской кристаллов . . . . .	345
27.8.4. Визуализация ИК-изображения . . . . .	346
27.8.5. Химическая чувствительность . . . . .	346

27.8.6. Жидкие кристаллы в роли датчиков . . . . .	346
27.9. О смачивании . . . . .	347
27.9.1. Эффект растекания жидкости под окисными пленками металлов . . . . .	347
27.9.2. Эффект капиллярного «клея» . . . . .	347
27.9.3. Теплота смачивания . . . . .	348
27.9.4. Магнитотепловой эффект смачивания . . . . .	348
27.10. Лента Мебиуса . . . . .	348
27.11. Обработка магнитными и электрическими полями . . . .	349
27.12. Явление самосинхронизации вращающихся тел (роторов)	350

Впервые в России на книжных прилавках появилось справочное пособие, которое должно стать настольной книгой для изобретателей, инженеров, студентов и научных работников.

Справочник состоит из двух частей. В первой части изложены признаки, характеризующие объекты изобретений и полезных моделей, а также технология оформления заявочных материалов на выдачу охранных документов на указанные объекты.

Во второй части представлено около 500 физических эффектов и явлений изученного окружающего нас мира, которые являются вполне достаточным фундаментом для построения теории применения этих физических эффектов и явлений для решения изобретательских задач в различных областях науки и техники.

В данной части нашли широкое освещение примеры технических решений, при разработке которых были использованы известные физические эффекты и явления. Сведения, приведенные во второй части, наглядно иллюстрируют на конкретных примерах эффективность использования законов природы при проектировании новой техники.

Предлагаемый справочник поможет увидеть и ощутить одну из важнейших тенденций развития технических систем — переход от исследования природы и практического воздействия на нее на макроуровне к исследованию ее на микроуровне и связанный с этим переход от макротехнологий к микротехнологиям.

Роль справочника заключается в том, что он сможет в какой-то степени служить лоцманом в необъятном мире технических задач и решений.

Прежде всего, его надо внимательно прочитать. Точнее проработать: прочитать и без спешки рассмотреть приме-

ры, каждый раз обдумывая — почему использован данный эффект, а не какой-то другой. Эту работу следует делать вдумчиво, неторопливо, регулярно углубляя знания и тренируя мышление. Многие физические эффекты и явления еще ждут своего применения, надеются на встречу с талантливыми изобретателями, результатом которой могут быть новые оригинальные технические решения, разработанные на уровне мировых стандартов.

Справочник уникален по своему содержанию. Он составлен по заданию Президиума Международной академии изобретательства и открытий заслуженным изобретателем Российской Федерации, действительным членом академии, кандидатом технических наук, доцентом Дикаревым Виктором Ивановичем, автором более 500 изобретений, из которых более 100 защищены патентами РФ в области радиоэлектроники, акустооптики, ультразвука, метеорологии, медицины, строительства, плазменной обработки поверхности металлов, экологии и защиты транспортных средств от угона и краж. Ряд его изобретений нашли отражение в справочнике.

*Заслуженный деятель науки РФ,  
Заслуженный изобретатель РФ,  
доктор технических наук, профессор  
Г. А. Денисов*

## ВВЕДЕНИЕ

Изобретения — национальное богатство России, а изобретательская деятельность ученых, инженеров, студентов — одно из основных звеньев научно-технического прогресса. Научно-технический прогресс — это тот локомотив, который способен вывести страну из кризисного состояния. Без изобретений научно-технический прогресс немыслим.

Однако изобретательской деятельностью в нашей стране занимается сравнительно узкий круг лиц. Часто дискутируется вопрос: может ли стать изобретателем каждый человек? Каждый человек изобретать не может, но каждый инженер обязан это делать.

Следует отметить, что слово «инженер» с латинского языка переводится как «изобретатель». Поэтому по своему статусу каждый инженер в процессе своей творческой деятельности обязан разработать хотя бы одно изобретение и положить свой небольшой кирпичик в общее здание научно-технического прогресса.

Вероятно, первыми инженерами можно назвать тех неизвестных изобретателей, которые стали приспособлять камни и палки для охоты и защиты от хищников, а первая инженерная задача заключалась в обработке этих примитивных орудий. И несомненно гениальным изобретателем следует признать того первобытного инженера, который первым прикрепил камень к палке, чтобы эффективнее защищаться и результативнее нападать. Однако неизвестные изобретатели первых примитивных орудий не знали латыни и не называли себя инженерами. Тем не менее перечень достижений инженерной мысли можно было бы многократно продолжить от первобытных орудий труда до полностью автоматизированных станков, от первых маяков до сегодняшних телевизионных башен, от

древних дорог и мостов до нынешних космических кораблей.

По количеству инженеров наша страна занимает ведущее место в мире, однако по количеству изобретений за нами только шестая позиция. В 1992 году на 300 инженеров у нас приходилось всего одно изобретение. В настоящее время эта цифра значительно увеличилась. Иностранные же фирмы, если инженер не изобретает, то они переводят его на техническую должность или увольняют. Поэтому одной из основных задач нашего государства является приобщение инженеров к научно-техническому творчеству и производству конкурентоспособной продукции.

Вторым резервом являются ученые. В 1992 году на 82 ученых приходилось всего одно изобретение. Некоторые ученые после защиты диссертации в творческом плане перестают работать. Хотя, казалось бы, что защита диссертации является стартовой площадкой для активной творческой работы. Однако этого не происходит. Одной из причин такого положения является то обстоятельство, что дополнительные мизерные доплаты у нас производятся не за творческий труд, а за наличие ученых степеней, званий и т. д. При этом администрация и Ученые Советы ВУЗов обеспокоены в основном только выполнением плана подготовки докторов и кандидатов наук, но никого не волнует их дальнейшая творческая отдача.

Об этом свидетельствует и то обстоятельство, что творческая деятельность, например, преподавателя, не учитывается в нагрузке, активная изобретательская деятельность создает для изобретателя в ряде случаев дискомфортную обстановку в коллективе, где при определенных условиях не поощряется указанная деятельность.

Следует также отметить, что на изобретательскую деятельность оказывают негативное влияние и высшие эшелоны власти. Интеллектуальный потенциал, огромные творческие наработки остаются еще пока не востребованными. 14 октября 1992 года в России принят новый Патентный закон, в котором упразднен государственный фонд и введены соответствующие пошлины за подачу заявки, что отрицательно сказалось на развитии изобретательского дела в стране. В переходный период, когда в экономике еще не укрепились рыночные отношения, такое решение, по нашему мнению, было ошибочным.

Несмотря на определенные объективные трудности, ученые обязаны заниматься изобретательской деятельностью



и разрабатывать новые конкурентоспособные технологии, реализовывать при этом свой высокий научный потенциал.

Что касается преподавателей и научных сотрудников, то занятие изобретательской деятельностью для них определено функциональными обязанностями. Чтобы привлечь студентов к техническому творчеству, преподаватель сам должен быть творческой личностью и изобретателем, поддерживать на современном уровне свою «техническую» форму, постоянно знакомиться с новинками науки и техники, систематически работать над повышением своих профессиональных знаний.

Следует также отметить, что если творческая отдача научных работников не будет учитываться и не будет стимулироваться соответствующим образом, то эффективность подготовки докторов и кандидатов наук снижается, если творческая отдача последних отсутствует или крайне низка.

Третьим резервом являются студенты. Если мы хотим видеть Россию развитой технической державой, то должны позаботиться о подготовке творческих молодых специалистов.

Чтобы вовлечь студентов в активную изобретательскую работу, как нам представляется, необходимо:

во-первых, широко разъяснять им ее значение;

во-вторых, нужно сообщить студентам знания в области изобретательского права, научить их патентной культуре;

и, наконец, в-третьих, важно замечать и поощрять успехи студентов в этой работе, морально и материально их стимулировать.

Именно в этих направлениях и должна проводиться работа в высших учебных заведениях технического профиля.

Трудно переоценить значение научно-технического творчества студентов для их инженерной подготовки, для совершенствования учебно-лабораторной базы. Поиски новых технических решений заставляют студентов глубже вникать в физическую сущность явлений, процессов, обращаться к дополнительной литературе, развивать привычку следить за новинками техники, будят творческую мысль.

Создавая лабораторные приборы и установки, наглядные пособия и тренажеры, студенты приобретают навыки в работе с аппаратурой, осваивают методику измерений,

перестают бояться сложных устройств и механизмов. А созданные ими технические устройства, в свою очередь, помогают более глубокому, сознательному усвоению материала читаемых дисциплин, повышает уровень их методической подготовки.

Техническое творчество студентов важно и для самоутверждения, для дальнейшего их творческого роста. Оно заставляет студентов поверить в свои силы, в свои творческие возможности, в способность создать в технике новое, никем до них еще не созданное.

Множество примеров свидетельствует о том, как, получив свой первый патент, обладатели его уже не сходили с трудного, но увлекательного пути изобретательского творчества.

Вторая задача, над которой должен работать профессорско-преподавательский состав в ВУЗах, заключается в том, чтобы сообщить студентам необходимые им для научно-технического творчества знания в области изобретательства, рационализации и патентоведения. Давно назрела необходимость включить дисциплину «Основы инженерного творчества» в учебные программы всех технических ВУЗов. В зарубежных технических ВУЗах указанная дисциплина введена в учебные программы уже более 20 лет назад.

В современных условиях недостаточно сообщить студентам определенные знания, необходимо еще научить их творчески мыслить и самостоятельно работать. Ведь в ВУЗе студенты получают только основы знаний, необходимые для дальнейшей повседневной самостоятельной работы над повышением своего технического уровня. Если этого не происходит, то молодые инженеры быстро теряют свою квалификацию.

Студенты могут и должны участвовать в научно-техническом творчестве и вносить свой определенный вклад в совершенствование учебно-лабораторной базы, в научно-технический прогресс. Дело чести профессорско-преподавательского состава воспитывать и обучать их в духе творческих поисков.

В решении вышеуказанных задач определенная роль отводится и «Справочнику изобретателя», в котором отражены около 500 физических эффектов и явлений, подобраны характерные примеры их изобретательского применения. Указанный справочник способен оказать помощь изобретателям при решении сложных технических задач, а также поможет проследить одну из важнейших

тенденций развития технических систем — переход от исследования природы и практического воздействия на нее на макроуровне к исследованию ее на микроуровне и связанный с этим переход от макротехнологии к микротехнологии.

Микротехнология основывается на совершенно иных принципах, чем технология, имеющая дело с макротелами. Микротехнология строится на основе применения к производству современных достижений химической физики, ядерной физики, квантовой механики. Это новая ступень взаимодействия человека и природы, а самое главное — это взаимодействие происходит на языке природы, на языке ее законов.

Человек, создавая свои первые технические системы, использовал в них макромеханические свойства окружающего его мира. Это не случайно, так как научные познания природы начались исторически именно с механических процессов на уровне вещества.

Вещество с его внешними формами и геометрическими параметрами является объектом, непосредственно данным человеку в ощущениях. Это тот уровень организации материи, на котором она предстает перед человеком как явление, как количество, как форма. Поэтому каждый технологический метод воздействия соответствовал и во многих современных системах сейчас соответствует простейшей форме движения материи — механической.

С развитием техники все методы воздействия совершенствуются, механические методы в большинстве случаев заменяются более эффективными физическими и химическими методами, в которых трудно различить вещество, являющееся орудием воздействия, и вещество, служащее предметом труда. Здесь нет инструмента непосредственного воздействия рабочего орудия или рабочей части машины, как это имеет место при механических методах. Функцию орудия труда выполняют частицы вещества — молекулы, атомы, — участвующие в процессе. Причем сам процесс легко управляем.

Переход от механических и макрофизических методов воздействия к микрофизическим позволяет значительно упростить любой технический процесс, добиться при этом большого экономического эффекта и получить безотходные процессы. Надо только помнить, что возможности научно-технической деятельности могут успешно реализоваться лишь при соблюдении границ возможного в самой природе, а уж природа ведет свои производства на

тончайшем атомном уровне бесшумно, безотходно и полностью автоматически.

В предлагаемом справочнике приведены примеры эффективного использования законов природы при проектировании новой техники, которые могут подсказать оригинальные решения технических задач, стоящих перед изобретателями.

Справочник изобретателя является логическим продолжением книги А. П. Ежова. Заявка на изобретение. — Л., 1986; учебного пособия Г. Л. Никифоровой, В. А. Рачкова. Заявка на изобретение и полезную модель. — СПб., 1994, а также работ по составлению физических эффектов и явлений: В. Гутника (1969 г.), Ю. Горина (1971 г.), коллектива авторов С. Денисова, Е. Ефимова, В. Зубарева, В. Кустова — Указатель физических эффектов и явлений. г. Обнинск, 1979 г. и дальнейшим их развитием и совершенствованием. В частности, введены эффекты и явления, широкое использование в радиоэлектронике, радиолокации, навигации, акустооптике, акустоэлектронике и других областях науки и техники.

Составитель справочника будет считать свою задачу выполненной лишь в том случае, если справочное пособие станет настольной книгой для изобретателей, инженеров, студентов и научных работников, а помещенная в него информация послужит базой и стимулом для успешной разработки новых и оригинальных технических решений, защищающих государственный приоритет.

Составитель выражает благодарность П. А. Кулешову за предоставление некоторых исходных материалов, а также Г. А. Денисову, Л. В. Шмакову и другим за предоставление физических эффектов и явлений, имеющих статус открытий и защищенных соответствующими дипломами.

Составитель глубоко признателен президенту Международной академии изобретательства В. Г. Тыминскому и вице-президенту Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы Г. А. Денисову за активное содействие и поддержку в издании «Справочника изобретателя» массовым тиражом.

*«Без знаний нельзя изобретать, как нельзя слагать стихи, не зная языка».*

**А. ЭЙНШТЕЙН**

*«Промышленность движется вперед только благодаря изобретателям... Будь моя воля, я построил бы для них заводы, оборудовав их по последнему слову техники!»*

**О. АНТОНОВ,**  
генеральный конструктор

*«Как и все граждане страны, я горжусь достижениями наших новаторов. Желаю им еще большей известности, ибо признание — одно из могучих стимулов любого творчества».*

**А. СТРУГАЦКИЙ,**  
писатель-фантаст

*«Невозможно дать полную картину того, как многим мы обязаны изобретателям. Это они преданностью своим идеям, своим упорством одели доисторического человека, помогли людям выйти из животного состояния, освободили их от страха перед природой, облегчили их труд. Ближится время, когда о культурном уровне народа будут судить по тому, насколько он заботится о своих изобретателях, помогает им, охраняет их интересы».*

*«В защиту мира»,  
1973, № 30.*

*ЧАСТЬ I*

**ПРАВОВЫЕ  
ОСНОВЫ  
ИЗОБРЕТЕНИЙ**

## **НЕОБХОДИМОСТЬ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПАТЕНТОВАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЙ**

Защита результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) — важнейшая задача любых предприятий, поскольку без правовой защиты они легко могут стать жертвами конкурентов. При публикации сведений о новых разработках или выпуске продукта на рынок без патентной защиты конкурент получает возможность сэкономить время и средства на НИОКР и за счет этого получить дополнительную прибыль. Более того, конкурент может неожиданно запатентовать нужную разработку, что поставит под угрозу выпуск продукции на предприятии, первоначально ею владевшей. Все вышесказанное справедливо и в отношении лица, занимающегося предпринимательской деятельностью.

Отсюда вытекает основная цель получения патента на изобретение — защитить от использования другими лицами без согласия патентообладателя техническое новшество. Однако следует учитывать, что патентами защищаются не объекты техники и технологии, а изобретения, лежащие в их основе.

Получение патента и поддержание его в силе связаны с определенными материальными затратами. В результате использования изобретения патентообладатель может не только скомпенсировать свои затраты, но и получить прибыль. Поэтому прежде чем приступить к патентованию изобретения, необходимо оценить целесообразность получения патента.

Хотя преимущества патентной защиты очевидны, сегодня наблюдается тенденция, когда зарубежные фирмы и предприятия отказываются от патентования своих изобретений. Одной из причин является тот факт, что на основе патента конкурент может найти направление поиска, так как в описании изобретения к патенту раскрывается



его сущность и приводятся примеры, иллюстрирующие возможность практической реализации изобретения. Поэтому, и особенно в тех случаях, когда изобретение является ценным и относится к новым направлениям науки и техники, необходимо грамотно рассмотреть вопрос о целесообразности патентования такого новшества. Возможно, его следует сохранить в качестве «ноу-хау».

«Ноу-хау» — обобщающий термин для различных секретов производства, полностью или частично конфиденциальных знаний, сведений технического, экономического, административного и финансового характера, использование которых обеспечивает определенные преимущества лицу, их получившему.

Содержащий «ноу-хау» товар ценится дороже, поскольку его трудно, а порой и невозможно скопировать, так что владелец «ноу-хау» получает исключительные производственные и, следовательно, коммерческие права. Обладатель «ноу-хау» имеет право на защиту от незаконного использования этой информации третьими лицами при условии, что:

эта информация имеет действительную или потенциальную коммерческую ценность в силу неизвестности ее третьим лицам;

к этой информации нет свободного доступа на законном основании;

обладатель информации принимает надлежащие меры к охране ее конфиденциальности.

Необходимым условием для получения патента на изобретение является его соответствие критериям изобретения.

Чтобы получить максимальную прибыль, патентообладателю необходимо обеспечить надежную патентную защиту разработке. Для этого нужно правильно выбрать объект, подлежащий защите, и определить признаки, которые необходимо включить в формулу изобретения.

С 14 октября 1992 года введен в действие Патентный закон Российской Федерации, согласно которому в качестве охранного документа на изобретение вместо авторского свидетельства выдается патент.

Основное отличие указанных охранных документов заключается в том, что авторское свидетельство олицетворяет социалистическую, общенародную собственность, а патент — капиталистическую, частную собственность.

Патент действует с даты поступления заявки в Патентное ведомство: на изобретение — 20 лет, а свидетельство

на полезную модель — 5 лет, причем последний срок продлевается Патентным ведомством по ходатайству патентообладателя, но не более чем на 3 года.

Правовая охрана предоставляется изобретению, если оно является новым, имеет изобретательский уровень и промышленно применимо.

Полезная модель — это «малое» изобретение. К полезным моделям относится конструктивное выполнение средств производства и предметов потребления, а также их составных частей.

Правовая охрана предоставляется полезной модели, если она является новой и промышленно применимой.

Для оформления патентных прав в Российской Федерации необходимо подать заявку на изобретение (полезную модель) в Патентное ведомство — Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС), который осуществляет единую государственную политику в области охраны промышленной собственности. ФИПС в соответствии с законодательством РФ принимает заявки на объекты промышленной собственности (изобретения, полезные модели и промышленные образцы), проводит экспертизу заявок, от имени государства выдает на эти объекты соответствующие охранные документы, в установленном порядке признает охранные документы недействительными, а также осуществляет регистрацию объектов промышленной собственности и ведет государственные реестры.

Патентным законом для изобретений введена отсроченная система экспертизы, которая предусматривает в обязательном порядке формальную экспертизу, а экспертиза по существу изобретения будет проведена не по всем заявкам, поступившим в Патентное ведомство, а только по соответствующему ходатайству заявителей или третьих лиц. Если оно не поступит в течение трех лет, заявка считается отозванной. По истечении 18 месяцев с даты поступления заявки, прошедшей формальную экспертизу с положительным результатом, Патентное ведомство публикует сведения о заявке, кроме случаев, когда она отозвана.

По заявкам на полезную модель проводится только формальная экспертиза, а свидетельство выдается под ответственность заявителя без гарантии действительности. Требования, предъявляемые к заявке, обязательны для всех заявителей.

## **ВЫЯВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЙ**

### **2.1. ОБЪЕКТЫ ИЗОБРЕТЕНИЙ**

В ст. 4 Патентного закона РФ перечислены объекты, к которым может относиться изобретение. Ими являются: устройство, способ, вещество, штамм микроорганизма, культуры клеток растений или животных, а также применение известного ранее устройства, способа, вещества, штамма по новому назначению. Причем, независимо от вида объекта изобретения установлена единая патентная форма охраны изобретений.

В качестве изобретений правовая охрана не предоставляется решениям, противоречащим общественным интересам, принципам гуманности и морали. В этом перечне отсутствует указание на то, что правовая охрана не предоставляется явно бесполезным изобретениям, что связано с переходом на патентную форму охраны. Полезность изобретения должен оценивать только патентообладатель.

**Не признаются изобретениями:**

научные теории и математические методы;  
методы организации и управления хозяйством;  
условные обозначения, расписания, правила;  
методы выполнения умственных операций;  
алгоритмы и программы для вычислительных машин;  
проекты и схемы планировки сооружений, зданий, территорий;

решения, касающиеся только внешнего вида изделия, направленные на удовлетворение эстетических потребностей;

топологии интегральных микросхем;  
сорта растений и породы животных.

Патентоспособное изобретение должно не только соответствовать критериям изобретения, но и допускать воплощение в такой форме, которая объективно обеспечила

бы возможность установления факта использования изобретения, что необходимо для реализации патентных прав. Именно это обстоятельство и оказало влияние на формирование перечня патентоспособных объектов.

Наиболее распространенным объектом изобретения является устройство. К устройствам относят конструкции и изделия, например, машины, приборы, инструменты и т. п., а также узлы и детали указанных предметов.

Суть изобретения, относящегося к устройству, может заключаться в новой схеме его выполнения, в новом сочетании деталей, в дополнении определенным узлом и т. п. Поэтому для характеристики сущности устройств могут использоваться конструктивные элементы. Признаками устройства также являются наличие связей между элементами и взаимное расположение элементов. Сущность устройств следует характеризовать только признаками, а не эффектами.

К способам как объектам изобретения относятся процессы выполнения действий над материальным объектом (объектами) с помощью других материальных объектов.

Способы как объекты изобретения условно можно разделить на три группы:

способы, направленные на изготовление продуктов (изделий, веществ, материалов и т. п.). Например, «Способ получения бензина», «Способ приготовления асфальтобетонной смеси», «Способ получения электроизоляционного материала» и т. д.;

способы, направленные на изменение состояния предметов материального мира без получения конкретных продуктов. Например, «Способ управления асинхронным двигателем», «Способ регулирования давления» и т. п.;

способы, в результате которых определяется состояние предметов материального мира. Например, «Способ диагностики стенокардии», «Способ измерения объема сосудов» и т. п.

В отношении способов первой группы действует косвенная охрана продукта, т. е. действие патента, выданного на такой способ, распространяется и на продукт, непосредственно полученный таким способом. В отношении способов других групп косвенная охрана не действует.

Для характеристики сущности способа используются следующие признаки:

наличие действия или совокупности действий;

порядок выполнения таких действий во времени (последовательно, одновременно, в различных сочетаниях);

условия осуществления действий, режим, использование веществ (исходного сырья, реагентов, катализаторов и т. д.), устройств (приспособлений, инструментов, оборудования), штаммов микроорганизмов, культур клеток растений и животных.

К веществам как объектам изобретения относятся:

индивидуальные соединения, к которым условно отнесены высокомолекулярные соединения и объекты генетической инженерии (плазмиды, векторы, рекомбинированные молекулы нуклеиновых кислот и т. д.);

композиции (составы, смеси);

продукты ядерного превращения.

Штамм — это чистая культура микроорганизмов, выделенная из естественных местообитаний, которыми может быть окружающая среда, а также организм животного или человека (бактерии, микроскопические грибы, дрожжи и др.). Штаммы микроорганизмов составляют основу биотехнологии.

Изобретение «на применение» заключается в установлении новых свойств известных объектов и определении новых областей их использования. К этой же категории отнесены предложения, заключающиеся в установлении возможности практического использования известных, существующих в природе или искусственно полученных веществ, ранее не применявшихся в утилитарных целях. В данном случае изобретатель не создает новый объект, а находит новое применение известного. Новое свойство, найденное изобретателем, позволяет использовать известный объект по новому назначению.

Например, предложено применять тринатрийфосфат в качестве стимулятора смолывыделения при подсечке деревьев хвойных пород, льняную костру — отход первичной обработки льна — в качестве мелиоранта почвы, тунельный диод — в качестве датчика экстремальных температур, а лазер — в качестве скальпеля при операциях на глазах.

## 2.2. УСТАНОВЛЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Выявление изобретений в разработке проводят в два этапа. Сначала определяют сущность решения, а затем оценивают патентоспособность, чтобы принять обоснованное решение о целесообразности подачи заявки на получение патента на изобретение.

Первый этап включает уяснение задачи, на удовлетворение которой направлено изобретение, и того технического результата, который может быть получен при его использовании. При этом необходимо выявить возможные решения, проанализировать их и установить, к какому виду объектов изобретений они относятся. На этом этапе анализ объекта проводится с целью определения существенных признаков изобретения. Затем проверяют, соблюдено ли требование единства изобретения, и предвзительно решают вопрос об объеме защиты.

На втором этапе исследования необходимо располагать информацией об уровне техники, по отношению к которому будет оцениваться патентоспособность изобретения.

При наличии нескольких решений, относящихся к одному объекту, иногда приходится отдать предпочтение одному из них. Для этого следует познакомиться с факторами, влияющими на выбор объекта защиты.

### **2.3. ВЫБОР ОБЪЕКТА ПАТЕНТНОЙ ЗАЩИТЫ**

Проблема выбора объекта патентной защиты связана, в первую очередь, с решением вопроса о целостности защищаемого изобретения. Например, предложено устройство для измерения параметров дыхательного газообмена у людей и животных, которое содержит датчик концентрации кислорода и регистрирующую систему, состоящую из различных электронных блоков.

При условии, что части этого устройства имеют оригинальную конструкцию и создают определенный технический результат, например повышают быстродействие, в качестве объекта изобретения может выступать датчик концентрации кислорода, регистрирующая система и устройство в целом как совокупность датчика и регистрирующей системы.

Вопрос о целостности изобретения должен решаться будущим патентообладателем самостоятельно с учетом тщательного анализа технических, экономических и правовых вопросов, с учетом оценки рыночной конъюнктуры, прогноза относительно того, найдет ли изобретение спрос на рынке и в каком объеме.

Некоторые заявители полагают, что во всех случаях объем прав, вытекающих из патента, будет больше, если он получен на изобретение в целом. Однако патент на часть целого может дать и больший объем прав, если эта

часть имеет самостоятельное значение или может быть применена в других объектах.

Если объект представляет систему элементарных частей, которая характеризуется лишь новыми внутренними взаимосвязями, — например, в рассматриваемом устройстве изменилась связь одного из блоков регистрирующей системы с датчиком, что привело к повышению быстродействия прибора, — то объектом защиты должно быть целое. Аналогичное решение следует принять, если устройство дополнено новой частью, которая самостоятельно не является патентоспособной.

В отношении каждого из выделенных изобретений должно быть соблюдено требование единства, т. е. все части (признаки) должны быть взаимосвязаны и направлены на решение одной задачи с достижением одного и того же технического результата. Если же достижение технического результата связано только с частью, то эта часть является самостоятельным изобретением.

Выбирая объект защиты, обязательно следует предусмотреть возможность контроля за использованием изобретения. Объекты изобретений можно условно разделить на две большие группы: продукты производства и способы. Способы существуют только в производстве, поэтому они защищаются и контролируются в основном в производстве, а продукты производства в виде вещественных предметов существуют, и следовательно контролируются и защищаются не только в процессе их изготовления, но и при продаже в виде товара, при поставке, а также при применении, т. е. во всех сферах производственных отношений.

Патентным законом РФ введена косвенная охрана продукции, т. е. защитив патентом способ получения продукта, патентообладатель автоматически получает права, вытекающие из патента, и на получение этим способом продукта (вещество, изделие, материалы, штамм микроорганизма и т. п.). Но если нет возможности контролировать по выпущенному продукту факт применения для его изготовления данного способа, целесообразность патентования способа весьма сомнительна. Если никакие анализы не дают возможности обнаружить косвенные признаки использования патентуемого способа или не дают однозначных результатов, риск патентования может обойтись очень дорого. Положение еще более осложняется, если конкурирующая фирма известна как производитель данного продукта и имеет патенты пусть даже на менее



совершенный способ, но давно применяемый на ее предприятиях. В случае нарушения патента, она попытается доказать, что продукт изготовлен по ее патенту. В этом случае необходимо патентовать не способ, а продукт.

## **2.4. ФОРМУЛИРОВКА СУЩЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ**

Объем прав патентообладателя определяется формулой изобретения. Продукт (изделие) признается изготовленным с использованием запатентованного изобретения, а способ, охраняемый патентом, примененным, если в нем использован каждый признак изобретения, включенный в независимый пункт формулы, или эквивалентный ему признак. Поэтому очень важно, с какой формулой выдан патент.

Признаки, подлежащие включению в формулу изобретения, определяют на этапе его выявления. Из всей массы признаков, которые присущи объекту, следует выделить только существенные признаки. Соблюдение этого условия обеспечит наибольший объем прав патентообладателю.

Признаки относят к существенным, если они влияют на достигаемый технический результат, т. е. находятся в причинно-следственной связи с ним. Он может выражаться, например, в уменьшении крутящего момента, в снижении коэффициента трения, в снижении вибрации, повышении противоопухолевой активности, локализации действий лекарственного препарата и т. д.

Определяя существенные признаки, необходимо правильно выбрать форму выражения, чтобы при установлении факта нарушения патента признак можно было идентифицировать.

При формулировке существенных признаков изобретения признаки объекта должны быть обобщены, что обеспечит большой объем прав, вытекающих из патента. Правомерность обобщения признаков подтверждается в описании изобретения.

Существенный признак может быть выражен посредством альтернативных понятий. Альтернатива предполагает возможность выбора из двух или нескольких возможных решений. К использованию альтернативных признаков следует прибегать в том случае, если не удается для признака, выражающего сущность изобретения, подобрать обобщающее понятие либо из-за его отсутствия, либо из-за его недостоверности. Сущность изобретения выражается в совокупности его существенных признаков.

## 2.5. ЕДИНСТВО ИЗОБРЕТЕНИЯ

Требование единства является обязательным для каждого изобретения. Заявка может быть оформлена на одно изобретение или группу изобретений, связанных между собой настолько, что они образуют единый изобретательский замысел.

Проверка соблюдения требований единства тесно связана с проверкой правильности определения существенных признаков изобретения. Требование единства будет соблюдено, если заявка относится к одному объекту изобретения, т. е. к одному устройству, способу, веществу, штамму микроорганизма, культуре клеток растений или животного, а также применению известного ранее объекта по новому назначению.

Практически это означает, что в сущности изобретения, относящегося к устройству, присутствуют только признаки, характерные для устройства, к способу — только для способа и т. д. Необходимым условием для соблюдения требований единства является наличие взаимосвязи между признаками изобретения и его результатом.

Если будет установлено, что имеют место несколько изобретений, — например, в сущности присутствуют признаки устройства и способа, или способа и вещества, — необходимо рассмотреть вопрос о возможности объединения их в группу изобретений, связанных единым изобретательским замыслом, или выделить один объект, подлежащий правовой защите.

Особенно тщательно следует подходить к анализу данного вопроса, если в результате использования изобретения может быть получено несколько технических результатов.

Пусть сущность изобретения составляют признаки А, В, С, Д, а в результате его использования достигаются два различных технических результата — Х и Y. При характеристике сущности изобретения в однозвенной формуле единство будет соблюдено при условии, что все указанные признаки одновременно влияют на результаты Х и Y. Если будет установлено, что часть признаков влияет на результат Х, а другая — на Y, то требование единства нарушено. В этом случае следует выделить основной результат и дополнительный к нему, изобретение охарактеризовать в многозвенной формуле, а в разделе описания «Сущность изобретения» выделить признаки, влияющие на основной и дополнительный результаты. При этом важно, чтобы

решалась общая задача. Если решаются различные задачи и при этом получаются различные технические результаты, то такие изобретения нельзя объединять в одной заявке, так как требование единства будет нарушено.

Сущность одного изобретения можно охарактеризовать в многозвенной формуле. В этом случае имеются признаки, которые развивают и/или уточняют изобретение в частных случаях его выполнения или использования. Эти уточняющие признаки, содержащиеся в зависимых пунктах формулы, не должны исключать ни одного признака из независимого пункта формулы.

## **2.6. УСЛОВИЯ ПАТЕНТОСПОСОБНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЙ**

Под патентоспособностью понимают свойство решения, благодаря которому оно может быть признано изобретением в соответствии с патентным законодательством определенной страны. В Российской Федерации к условиям патентоспособности изобретений отнесены новизна, изобретательский уровень и промышленная применимость.

Перед оформлением заявки на изобретение целесообразно оценить его патентоспособность для того, чтобы окончательно решить вопрос об объеме правовой защиты. К оценке патентоспособности изобретения приступают после того, как определена сущность изобретения.

### **2.6.1. Промышленная применимость**

Изобретение является промышленно применимым, если оно может быть использовано в промышленности, сельском хозяйстве, здравоохранении и других отраслях деятельности.

Использовать можно лишь осуществимое предложение. Поэтому материалы заявки должны содержать информацию о том, как можно осуществить изобретение.

При оценке промышленной применимости в первую очередь следует установить сферу применения средства, в основу которого будет положено изобретение при его использовании.

Во-вторых, для доказательства промышленной применимости в описании изобретения придется приводить примеры, подтверждающие возможность осуществления изобретения с помощью средств и методов, предложенных

автором, либо известных до даты приоритета. Поэтому следует подобрать соответствующие примеры.

В-третьих, подобные примеры должны подтверждать возможность реализации изобретением функции в соответствии с его назначением, т. е. изобретение должно быть работоспособным. Неработоспособные изобретения обычно основаны на ошибочных расчетах или предположениях, противоречащих известным научным законам и теориям.

Требование промышленной применимости обязательно должно быть выполнено в отношении общих форм реализации изобретения, т. е. в отношении признаков, достаточных во всех случаях, на которые распространяется объем испрашиваемой правовой защиты. Для частных форм исполнения изобретения оно не является обязательным.

Критерий промышленной применимости является критерием абсолютным, проверка соблюдения которого не связана с исследованием предшествующего уровня техники, а касается лишь самого изобретения. Для оценки промышленной применимости могут быть привлечены все те сведения, которые уже вошли в уровень техники. Так, если в соответствии с изобретением предложено вводить в организм человека газообразные лекарственные вещества в виде шариков, содержащих кислород или смеси газов в тонкой водорастворимой оболочке для профилактики и лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта, то для подтверждения промышленной применимости в заявке, кроме описания, как принимать данное лекарство, следует привести сведения о том, как изготовить эти шарики, из какого материала выполнена их оболочка, какие газовые смеси используются, и т. п.

### 2.6.2. Понятие «уровень техники»

Патентоспособность изобретения и полезной модели определяется по отношению к уровню техники.

Уровень техники — это совокупность определенных сведений, имеющих отношение к изобретению. В уровень техники включаются лишь общедоступные сведения.

Общедоступные сведения — это такие сведения, с которыми любое лицо может ознакомиться само независимо от места его работы, жительства и т. п., либо о содержании которых ему может быть сообщено законным путем. При проведении экспертизы учитываются лишь те общедоступные сведения, которые стали таковыми до даты приоритета.

В уровень техники входят, в частности:

опубликованные описания к охраняемым документам, опубликованные заявки на изобретения — с даты опубликования;

русские (советские) издания — с даты подписания в печать;

иные издания — с даты выпуска в свет;

депонированные рукописи статей, обзоров, монографий и других материалов — с даты депонирования;

отчеты и научно-исследовательские работы, пояснительные записки к опытно-конструкторским работам и другая конструкторская, технологическая и проектная документация, находящаяся в органах научно-технической информации, — с даты поступления в эти органы;

нормативно-техническая документация (ГОСТ, ТУ и т. д.) — с даты регистрации ее в уполномоченных органах;

материалы диссертаций и авторефераты диссертаций, изданные на правах рукописи, — с даты поступления в библиотеку;

принятые на конкурс работы — с даты выкладки их для ознакомления;

визуально воспринимаемые источники (плакаты, проспекты, чертежи, схемы, фотоснимки и т. п.) — с даты, когда стало возможным их обозрение при наличии и подтверждении официальным документом;

экспонаты, помещенные на выставке, — с даты начала их показа, подтвержденной официальным документом;

устные доклады, лекции, выступления — с даты, когда был сделан доклад, прочитана лекция, состоялось выступление, если они зафиксированы аппаратами звуковой записи или стенографически в порядке, установленном действующими правилами;

сообщение посредством радио, телевидения, кино и т. п. с даты такого сообщения, если оно зафиксировано на соответствующем носителе информации в установленном порядке;

сведения о техническом средстве, ставшие известными в результате его использования в производственном процессе, в изготавливаемой или эксплуатируемой продукции, либо иного введения в хозяйственный оборот — с даты, указанной в официальном документе, подтверждающим общедоступный характер таких сведений.

Патентным законом предусмотрен льготный период для раскрытия информации. Льготный период — это специфическая льгота, предоставляемая заявителю (автору),

согласно которой при проверке соблюдения условий патентоспособности изобретения некоторые сведения, «идущие» от самого заявителя (автора), не включаются в уровень техники.

Наличие льготного периода ускоряет распространение информации о новых достижениях. Эта льгота при подаче заявки позволяет заявителю лучше подготовиться к коммерческой реализации изобретения без опасения раскрыть сущность изобретения и утратить при этом патентоспособность. Во время льготного периода раскрыть информацию об изобретении может сам автор (заявитель) либо третье лицо, владеющее этими сведениями. Однако следует стремиться после раскрытия информации как можно раньше подать заявку, чтобы конкурент не смог воспользоваться правом прежде пользования, насытить рынок товаром. Также имеется опасность потери возможности получения патента в зарубежных странах, законодательством которых не предусмотрена такая льгота.

Продолжительность льготного периода — 6 месяцев с даты раскрытия информации. Именно в этот срок необходимо подать заявку на изобретение в Патентное ведомство. Льготный период учитывается при определении новизны и изобретательского уровня. Например, если автор напишет сначала статью и представит ее в редакцию отечественного журнала, а заявку на изобретение, раскрытое в ней, подаст в течение шести месяцев с даты подписания издания в печать, то эта информация не может быть препятствием для выдачи ему патента РФ.

### 2.6.3. Новизна

К изобретению предъявляются требования абсолютной мировой новизны.

Изобретение является новым, если оно не известно из уровня техники.

Для оценки новизны изобретения в первую очередь исследуют уровень техники, при этом выявляют аналоги изобретения. Для удобства в работе составляют регламент поиска.

Под аналогом понимают средство того же назначения, известное из сведений, ставших общедоступными до даты приоритета, совокупность признаков которого сходна с совокупностью существенных признаков изобретения.

Единство назначения средств устанавливается исходя из выполняемой ими функции с учетом области

использования изобретения. Название изобретения содержит сведения о его назначении, но при поиске аналогов не следует ограничиваться лишь одним названием изобретения. Необходимо выбрать классификационные рубрики также по синонимам названия изобретения, так как нельзя гарантировать, что искомое средство отражено именно под данным названием.

Из найденных средств одного назначения целесообразно отобрать основанные на общем с изобретением принципе работы, действия, воздействия на обрабатываемый предмет и т. п.

Новизну изобретения проверяют в отношении совокупности всех существенных признаков. Для этого сравнивают совокупность существенных признаков изобретения с совокупностью признаков каждого из аналогов. Эту работу удобно проводить с помощью таблицы, в первую графу которой следует записать совокупность всех существенных признаков изобретения, а в последнюю — признаки аналогов, причем запись признаков по горизонтали должна осуществляться с учетом общности выполняемой ими функции. Следует стремиться к одинаковой степени раскрытия признаков изобретения и аналогов. Например, если к числу существенных признаков изобретения относится температурный режим выполнения той или иной операции (например, нагревают воду до 40–50°C), то и в аналоге, если присутствует сходная операция, следует указать на режим ее проведения (нагревают воду до 80–90°C).

После установления новизны из аналогов выбирают его прототип.

Прототип — это аналог изобретения, наиболее близкий к нему по совокупности признаков. Алгоритм определения прототипа из аналогов достаточно прост и предполагает из отобранных аналогов выделение того, который совпадает по максимальному количеству признаков с изобретением.

Для одного изобретения должен быть выбран только один прототип, т. е. конкретное средство, описанное в одном из источников информации. Выбор так называемого «сборного» прототипа недопустим.

Прототип необходим для составления формулы изобретения. Сравнивая существенные признаки изобретения с прототипом, выделяют общие и отличительные. Решения, содержащие отличительные от прототипа признаки, входят в уровень техники, который учитывается при оценке изобретательского уровня.

### 2.6.4. Изобретательский уровень

Этот критерий призван оценить творческий характер изобретений, которым предоставляется правовая охрана. Изобретение имеет изобретательский уровень, если оно для специалиста явным образом не следует из уровня техники. Следовательно, изобретательский уровень определяется через отношение специалиста к уровню техники.

Специалист — это лицо, сведущее в конкретной области знаний и практической деятельности.

Решение не будет обладать изобретательским уровнем, если специалист обнаружит прямое указание на взаимосвязь между использованными в изобретении средствами (отличительными от прототипа признаками) и искомым результатом или если от специалиста требуется чисто логический вывод, основанный на известных сведениях о такой взаимосвязи. Но изобретение не может быть признано несоответствующим данному требованию из-за его кажущейся простоты и раскрытия в материалах заявки механизма достижения технического результата, если такое раскрытие стало известно не из уровня техники, а только из материалов заявки.

Изобретение будет обладать необходимым для предоставления ему правовой охраны изобретательским уровнем, если из предшествующего уровня техники нельзя выявить влияние отличительных от прототипа признаков на достижение того технического результата, который обеспечивает изобретение. Для проверки изобретательского уровня необходимо провести поиск источников, которые могут содержать признаки, идентичные существенным отличительным.

При исследовании уровня техники возможны две ситуации.

1. Источники с искомыми признаками не обнаружены. Значит, признаки новы, неизвестны и нельзя говорить об известности их влияния на технический результат. Следовательно, изобретательский уровень есть. Описанная ситуация может иметь место в том случае, если предложено деталь в известном устройстве выполнять из нового материала. Требованию изобретательского уровня соответствуют и пионерские изобретения, а также принципиально новые решения известных задач.

2. Источники, содержащие искомые признаки, обнаружены. Если из них выявляется влияние изучаемых признаков на достижение такого же технического результата,



как и в изобретении, оно не отвечает требованию изобретательского уровня.

Не могут быть признаны изобретением решения, сущность которых заключается:

а) В дополнении известного средства известной частью, присоединенной к нему по известным правилам, для достижения технического результата, в отношении которого установлено влияние именно таких дополнений. Например, известный прибор для измерения объема газа снабжен анализатором газа, в результате чего при измерении объема смеси различных газов можно устанавливать и состав этой смеси. При условии известности анализатора результат рассматривается как известный.

б) В замене одной части другой известной частью для достижения технического результата, в отношении которого установлено влияние такой замены. Например, в устройстве для измерения параметров дыхательного газообмена датчик концентрации кислорода А заменен на другой — В, что позволило повысить быстродействие прибора. Из уровня техники известно, что датчик В обладает требуемыми параметрами, что и обуславливает результат.

в) В исключении части (элемента, действия) с одновременным исключением обусловленной ее наличием функции и достижения при этом обычного для такого исключения результата. Например, из известного способа исключили прием очистки конечного продукта. В результате способ стал дешевле, продолжительность сократилась, но продукт получили неочищенным.

г) В увеличении количества однотипных элементов, действий для усиления технического результата, обусловленного наличием в средстве именно таких элементов, действий.

д) В выполнении известного средства или его частей из известного материала для достижения технического результата, обусловленного известными свойствами материала. Например, для повышения термостойкости изделия его выполняют из известного более термостойкого материала.

е) В создании средства, состоящего из известных частей, выбор которых и связь между которыми осуществлены на основании известных правил, рекомендаций, и достигаемый при этом технический результат обусловлен только известными свойствами частей этого объекта и связями между ними. Например, предложена электрическая схема для измерения какого-либо параметра, которая включает стандартные блоки, связанные между собой по правилам, известным из электротехники.

ж) В применении известного объекта по новому назначению, если новое назначение обусловлено его известными свойствами, выполнением и известно, что именно такие свойства, структура, выполнение необходимы для реализации этого назначения.

Не могут быть признаны соответствующими изобретательскому уровню решения, которые основаны на изменении количественного признака, представлении таких признаков во взаимосвязи, если известен факт влияния каждого из них на технический результат и новые значения этих признаков или их взаимосвязи могли быть получены из известных закономерностей. Например, для повышения термостойкости композиции увеличим количественное содержание какого-либо ингредиента. Поскольку из уровня техники известно, что при увеличении количественного содержания этого компонента термостойкость повышается, то изобретательского уровня нет.

## 2.7. ПОЛЕЗНАЯ МОДЕЛЬ

Объектом полезной модели является конструктивное выполнение средств производства и предметов потребления, а также их составных частей, т. е. устройства.

В качестве полезных моделей не охраняются способы, вещества, штаммы микроорганизмов, культур клеток растений и животных и их применение по новому назначению, а также объекты, не охраняемые в качестве изобретений. Полезной модели предоставляется правовая охрана, если она является новой и промышленно применимой. К полезной модели предъявляется требование относительной мировой новизны, т. е. в уровень техники включаются опубликованные в мире сведения о средствах того же назначения, что и полезная модель, а об их применении — только на территории Российской Федерации.

Полезная модель является новой, если совокупность ее существенных признаков не известна из уровня техники. Алгоритм определения новизны и промышленной применимости аналогичен установлению этих условий патентоспособности для изобретений. Требования «изобретательского уровня» к полезной модели не предъявляются.

Следовательно, если изобретение относится к устройству и не соответствует критерию «изобретательский уровень», оно может быть защищено в качестве полезной модели.

## **ОФОРМЛЕНИЕ И ПОДАЧА ЗАЯВКИ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ И ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ**

### **3.1. ПОРЯДОК ПОДАЧИ ЗАЯВКИ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ И ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ**

Заявка на изобретение (полезную модель) подается заявителем, в качестве которого могут выступать:

автор(ы) изобретения и полезной модели;

работодатель;

правопреемники автора(ов) или работодателя.

Право на подачу заявки и получение патента принадлежит работодателю, если изобретение или полезная модель созданы работником в связи с выполнением им своих служебных обязанностей или полученного от работодателя конкретного задания, а между работником и работодателем не существует договор, которым предусмотрено иное.

Работник сообщает работодателю о созданном им новшестве, как правило, в письменной форме и раскрывает суть предложенного решения. Работодатель должен подать заявку в Патентное ведомство в течение четырех месяцев с даты уведомления его автором изобретения (полезной модели). В этот же срок работодатель может переуступить право на подачу заявки другому лицу или принять решение о сохранении объекта в тайне. Об этом он должен сообщить автору.

Если работодатель не совершил указанных действий в установленный срок, право на подачу заявки и получение патента переходит к автору, а за работодателем сохраняется право на использование этого объекта в своем производстве с выплатой патентообладателю компенсации, размер которой определяется на договорной основе.

В случае, если право на получение патента принадлежит работодателю, автор имеет право на вознаграждение, которое выплачивается в размере и на условиях, определяемых на основе соглашения между ними.

На основе договора работодатель, автор или его правопреемник может переуступить право на получение патента иному лицу. Форма такого договора произвольная и не требует каких-либо дополнительных условий, кроме выполнения общих, предусмотренных гражданским законодательством.

Договор заключается в письменной форме и должен содержать указание на то, что одна сторона передает все права на изобретение (полезную модель) под названием ....., а другая — их принимает. Необходимо оговорить условия передачи прав, меры защиты и ответственности.

Если сторонами договора являются граждане, их подписи должны быть удостоверены каким-либо официальным лицом, подпись которого удостоверяется оттиском печати официального органа.

Если одной из сторон является юридическое лицо, то договор подписывает автор (или иное физическое лицо, которое переуступает права), официальное лицо юридического лица, подпись последнего удостоверяется печатью.

Также следует указать место (город, республика), дату совершения договора, юридические адреса сторон (для граждан — адрес места жительства).

Заявка может быть подана и через патентного поверенного, зарегистрированного в Патентном ведомстве.

### **3.2. СОСТАВ ДОКУМЕНТОВ ЗАЯВКИ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ И ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ**

Заявка на изобретение представляет собой комплект документов, оформленных в соответствии с требованиями Патентного закона и Правилами составления, подачи и рассмотрения заявки на выдачу патента на изобретение. Заявка направляется в Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС). Его адрес: 121858, г. Москва, Бережковская набережная, дом 30, корпус 1.

Перечень необходимых документов для подачи заявки на изобретение:

- заявление о выдаче патента;
- описание изобретения;
- формула изобретения;
- чертежи и иные графические материалы;

реферат;

документ, подтверждающий уплату пошлины;

документ, подтверждающий основания для освобождения от уплаты пошлины, уменьшения размера пошлины;

доверенность, при подаче заявки через патентного поверенного;

ходатайство о досрочном начале формальной экспертизы, если заявитель хочет, чтобы формальная экспертиза проводилась с даты поступления заявки или ходатайства.

Последнее ходатайство подается при подаче заявки или позже, но не позднее, чем в двухмесячный срок с даты поступления заявки. По истечении этого срока формальная экспертиза проводится по каждой заявке без ходатайства.

По заявке, прошедшей формальную экспертизу с положительным результатом:

ходатайство о проведении информационного поиска, если заявитель хочет получить сведения об уровне техники, по отношению к которому будет оцениваться патентоспособность. Не позднее, чем начнется экспертиза по существу, можно представить при подаче заявки;

ходатайство о проведении экспертизы по существу; без поступления ходатайства экспертиза проведена не будет. В течение трех лет с даты поступления заявки, можно представить при подаче заявки.

Все документы заявки оформляются таким образом, чтобы их можно было длительное время хранить, непосредственно репродуцировать. Каждый лист используется только с одной стороны (за исключением заявления). Каждый документ начинается на отдельном листе формата 210 × 297 мм. Размеры полей на листах, содержащих описание, формулу, реферат, выполняются в мм: верхнее 20–40, правое и нижнее — 20–30, левое — 25–40. Второй и последующие листы в каждом документе заявки нумеруются арабскими цифрами.

Документы должны быть отпечатаны шрифтом черного цвета на прочной, белой, гладкой, неблестящей бумаге через 2 интервала. Графические символы, латинские и греческие буквы, формулы могут быть вписаны чернилами, пастой или тушью черного цвета. Заявление, описание, реферат и формула изобретения представляются в 3-х экземплярах.

Заявка на полезную модель должна содержать:  
заявление о выдаче свидетельства;  
описание полезной модели;  
формула полезной модели;  
чертежи;  
реферат;  
документ об уплате пошлины.

Сроки представления документов такие же, как и для заявки на изобретение. Чертежи являются обязательным документом заявки.

Документы оформляются на листах белой бумаги формата 210 × 297 мм, размеры полей составляют, мм: верхнее — 20, правое — 10, левое и нижнее — 20.

### **3.3. ЗАЯВЛЕНИЕ О ВЫДАЧЕ ПАТЕНТА НА ИЗОБРЕТЕНИЕ**

Заявление оформляется на бланке установленного образца и должно содержать все требуемые сведения. Оно начинается с просьбы о выдаче патента РФ. После слов «на имя» приводят сведения о лице (лицах), на чье имя испрашивается патент, а также сведения об их местожительстве, местонахождении для юридических лиц. Далее в этой же графе под кодом 71 приводят аналогичные сведения о заявителях. Если заявители — авторы изобретения, то сведения об их местожительстве вносят не в эту графу, а в графу под номером 97.

Заявитель, по своей инициативе или запросу экспертизы, может дополнять, уточнять или исправлять материалы заявки без изменения сущности изобретения.

Приоритет может быть установлен по дате поступления в Патентное ведомство более ранней заявки того же заявителя, раскрывающей это изобретение, если заявка, по которой испрашивается такой приоритет, поступила не позднее 12 месяцев с даты поступления более ранней заявки («внутренний приоритет», п. 4 ст. 19 Патентного закона). При этом более ранняя заявка считается отозванной и с ней никаких действий не осуществляется, т. е. не производится публикация сведений о ней и она не входит в уровень техники. Воспользоваться внутренним приоритетом заявитель может, если, например, в ходе рассмотрения его более ранней заявки окажется, что испрашиваемый объем прав по ней не является оптимальным, а все необходимые признаки для

этого раскрыты в описании. Подача в такой ситуации заявки с испрашиванием внутреннего приоритета позволит изменить форму изобретения и обеспечить требуемый объем защиты, сохранив приоритет.

В графе с кодом 54 приводится название изобретения, которое должно полностью совпадать с названием, указанным в описании изобретения и формуле.

В графе с кодом 98 следует указать адрес для ведения переписки (полный почтовый адрес с указанием почтового индекса), а также телефон, телеграф, телефакс.

Графа под кодом 74 заполняется только в том случае, если заявка подается через патентного поверенного.

На оборотной стороне заявления заполняют перечень прилагаемых документов с указанием количества листов в одном экземпляре и количество экземпляров.

В графе 72 приводят сведения об авторах изобретения: фамилия, имя, отчество; 97 — адрес местожительства (с указанием почтового индекса). В соседней графе отведено место для подписи автора, который переуступил право на получение патента заявителю, а также проставляется дата подачи.

Авторы имеют право отказаться быть упомянутым и при публикации сведений о заявке и/или выдаче патента. Если такая просьба у авторов имеется, то заполняется соответствующая графа заявления. При этом ненужное зачеркивается.

Если какие-либо сведения разместить в соответствующих графах заявления нельзя, их приводят по той же форме на дополнительном листе с указанием в соответствующей графе заявления: «см. приложение на дополнительном листе».

Заявление подписывается заявителем, а также лицом, на чье имя испрашивается патент; от имени юридического лица заявление подписывает руководитель организации с указанием должности, подпись скрепляется печатью.

При подаче заявки через патентного поверенного заявление подписывается патентным поверенным.

Подписи на заявлении расшифровываются указанием фамилии и инициалов подписывающего лица.

Если какие-либо сведения приводились на дополнительном листе, последний подписывается в таком же порядке. Наличие подписи заявителя или поверенного обязательно на каждом дополнительном листе.

### 3.4. ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Описание является одним из основных документов заявки. Его назначение — раскрыть изобретение с полной, достаточной для его осуществления.

Описание должно быть составлено так, чтобы не возникло сомнений относительно принципиальной осуществимости изобретения и вместе с тем не были бы раскрыты потенциальные «ноу-хау» заявителя. В описании следует приводить такие сведения, чтобы эксперт, ознакомившись с материалами заявки и изучив уровень техники, смог однозначно сделать вывод о патентоспособности изобретения.

В описании следует использовать стандартные термины и сокращения, а при их отсутствии — общепринятые в научной и технической литературе. При использовании терминов и обозначений, не имеющих широкого применения, их значение поясняется в тексте при первом употреблении, а при использовании математических выражений, химических формул необходимо расшифровать все входящие обозначения.

В описании и формуле изобретения следует соблюдать единство терминологии. В тексте описания не должно содержаться выражений, противоречащих общественному порядку и морали, а также пренебрежительных высказываний по отношению к изобретениям третьих лиц.

#### 3.4.1. Структура описания изобретения

Описание должно быть составлено в соответствии с требованиями Правил составления, подачи и рассмотрения заявки на выдачу патента на изобретение и иметь определенную структуру.

Заменять раздел описания в целом или его части отсылкой к источнику, в котором содержатся необходимые сведения, недопустимо. Например, нельзя вместо характеристики аналога привести лишь ссылку на источник, в котором имеется его описание.

Озаглавливать разделы описания в тексте не требуется. Начинается описание с указания названия изобретения. Если установлена рубрика действующей редакции международной патентной классификации (МПК), к которой относится изобретение, представляется индекс этой рубрики.



Описание должно содержать следующие разделы:  
область техники, к которой относится изобретение;  
уровень техники;  
сущность изобретения;  
перечень фигур чертежей или иных материалов (если они прилагаются);  
сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения.

### 3.4.2. Название изобретения

Название должно характеризовать назначение изобретения, полностью соответствовать его сущности и, как правило, определенной рубрике МПК. Оно должно быть точным, кратким, конкретным, выражать назначение объекта изобретения, описанного в заявке.

Название, как правило, излагается в единственном числе, именительном падеже, например «Фазометр», «Керамический материал», «Способ синхронизации часов». В именительном падеже множественного числа употребляются только те существительные, которые не имеют единственного числа, например «очки», «ножницы», «чернила».

Название должно давать четкое представление о виде объекта изобретения. Недопустимо название изобретения «Разметка дорожек для соревнований по плаванию», так как в такой формулировке оно может характеризовать и устройство, и способ.

Если не удастся подобрать термин, выражающий сущность изобретения (например, приемник, частотомер и т. п.), используют описательные названия, которые составляют следующим образом: указывают название вида объекта (устройство, композиция), а далее — его целевое назначение, например «Устройство для синхронизации часов».

Название изобретения, относящегося к способу, обязательно начинается со слов «способ», а далее указывают его назначение: «Способ вакуумной обработки поверхности металла», «Способ приема сигналов».

Если изобретение имеет узкую область применения, она должна быть указана в названии, например «Рабочий орган для разрушения тонкого льда», если изобретение не позволяет разрушать толстый лед.

Название не должно содержать слов, не несущих информационной нагрузки. Изобретение следует назвать

«Телевизор», а не «Схема телевизора», «Клей», а не «Состав клея». Оно не должно содержать рекламных слов и неопределенных выражений, например «Быстродействующее устройство», «Точный дальномер», «Высокочувствительный приемник».

Название должно соответствовать объему изобретения. Если изобретением является прокатный валок клетки полового прокатного стана, то оно не может называться «Прокатный стан», так как такая формулировка не отражает сущности изобретения.

Изобретению не следует давать название целой области техники. Кроме того, в нем не должны содержаться отличительные признаки изобретения (они приводятся в формуле), а также указание на получаемый при использовании технический результат.

Для изобретений на «применение» название должно отражать новое назначение известного объекта. Если предложено применять туннельный диод в качестве датчика экстремальных температур, то такое изобретение следует назвать «Датчик экстремальных температур».

В названии группы изобретений, относящихся к объектам, один из которых предназначен для получения (изготовления), осуществления или использования другого, должно содержаться название первого изобретения и сокращенное — другого, например «Способ изготовления фотошаблона и устройство для его осуществления». Если в группе изобретений один из объектов предназначен для использования в другом, в названии указывают два объекта, например «Гербицид и способ борьбы с сорняками». Если изобретения, включенные в группу, направлены на получение одного и того же результата принципиально одним и тем же путем, то они имеют одинаковые названия, а название группы дополняется указанием в скобках словом «варианты», например «Способ очистки радиоактивных масел» (его варианты), «Панкратическая лупа» (ее варианты).

Если изобретение относится к штамму микроорганизма или к культуре клеток растений и животных, то в его название включается родовое и видовое название биологического объекта на латинском языке с указанием фамилий авторов, вида и назначения штамма. Название этих объектов должно быть изложено в соответствии с требованиями международной номенклатуры.

### 3.4.3. Область техники, к которой относится изобретение

В этом разделе следует отразить область применения изобретения. Если таких областей несколько, указывают преимущественные. Не допускается необоснованное расширение или сужение области применения.

**П р и м е р.**

Предложено решение, относящееся к подводной буровой установке. Этот раздел описания может быть составлен следующим образом:

Изобретение относится к области добычи полезных ископаемых и может найти применение при освоении глубоководных месторождений полезных ископаемых, в том числе расположенных на замерзающих акваториях и в зонах дрейфующих льдов.

Кроме широкой области применения, нужно указать и более узкую, более конкретную область, т. е. указать, в каких конкретных объектах оно может быть использовано. Например: «Изобретение относится к области радиотехники, в частности к устройствам детектирования сложных сигналов». Желательно указывать все области, в которых изобретение может быть применено. Но не следует распространять возможность его применения на области, в которых эта возможность автором не проверена.

### 3.4.4. Уровень техники

Назначение данного раздела — отразить состояние уровня техники, известного заявителю на момент подачи заявки. Для этого следует привести сведения о двух-трех аналогах и прототипе. Описание начинают с более далекого аналога, а последним описывают прототип.

Для каждого аналога и прототипа необходимо указать: библиографические данные источника информации, в котором он раскрыт, причем такие, чтобы источник информации мог быть обнаружен;

признаки аналога с указанием тех, которые совпадают с существующими признаками изобретения;

причины, препятствующие получению требуемого результата.

**П р и м е р.**

Известна морская буровая установка (см. авт. свид. СССР 1.416.652, МКИ Е 21 В 7/12, 1985). Она содержит основание, герметичный корпус, в шахте которого смонтирован буровой инструмент. Основание и корпус разне-

сены в пространстве, что не обеспечивает необходимой устойчивости, вследствие чего установка подвержена ветровой и волновой нагрузке. Установка снабжена системой принудительного погружения, что обеспечивает безопасность работ в экстремальных условиях. Однако наличие этой системы усложняет конструкцию.

В качестве прототипа выбрана .....

Если изобретение относится к применению по новому назначению, то в качестве аналогов описывают объекты того же назначения. Так, если предложено применять карбид в качестве средства для предотвращения взрывов в шахте, то в качестве аналогов описывают известные ранее средства для предотвращения взрывов в шахте.

Если изобретение относится к способу получения смеси неуставленного состава с конкретным назначением или биологически активными свойствами, в качестве аналога описывается способ получения смеси с таким же назначением или такими же биологически активными свойствами.

При характеристике прототипа, относящегося к штамму микроорганизма и культурам клеток растений и животных — продуценту вещества, приводятся сведения о продуцируемом веществе.

### 3.4.5. Сущность изобретения

Назначение данного раздела — раскрыть сущность изобретения. Сущность изобретения в виде краткой характеристики приводится в формуле. Сначала рекомендуется составить формулу изобретения, а затем — описание.

В этом разделе прежде всего необходимо подробно описать задачу, на решение которой направлено изобретение.

Постановка задачи есть необходимый элемент в процессе изобретательского творчества, при поиске решения оно неоднократно преобразуется и уточняется. Эксперту же важно уяснить последнюю задачу, которую решил изобретатель. Это поможет ему правильно отобрать решения, входящие в уровень техники, и оценить «новизну» и «изобретательский уровень». При определении «изобретательского уровня» важно знать, какие противоречия и каким путем решил изобретатель, следует ли изобретение явным образом из уровня техники.

Раскрывая задачу, заявителю необходимо охарактеризовать цель разработки, содержание проблемы и технические противоречия, которые пришлось преодолеть и разрешить в процессе поиска решения. Задача должна

быть сформулирована так, чтобы специалист смог понять, какие технические признаки, входящие в уровень техники, должны быть подвергнуты изменениям для достижения определенного результата.

Затем необходимо четко сформулировать технический результат, который может быть получен при использовании изобретения. Технический результат служит базой для определения совокупности существенных признаков изобретения. Он учитывается и при оценке «изобретательского уровня».

Признаки относят к существенным, если они влияют на технический результат. Ошибка или неточность, допущенная при определении технического результата, может привести к искажению сущности изобретения.

Под техническим результатом следует понимать придание уже известным в науке и технике объектам новых потребительских свойств или изменение уже используемых механических, электрических, химических и других свойств. Технический результат может проявляться и в создании принципиально новых устройств, способов, веществ, так и объектов, расширяющих арсенал действующих средств.

#### **3.4.6. Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения**

Сведения, приводимые в данном разделе, используются экспертом для проверки промышленной применимости.

При проверке промышленной применимости изобретения определяют возможность его изготовления или использования в промышленности, сельском хозяйстве, здравоохранении, в сфере культуры, быта и т. п. Понятие промышленной применимости предполагает прежде всего наличие средств, с помощью которых может быть решена поставленная изобретателем задача. На практике проверка на промышленную применимость включает установление возможности осуществления изобретения с реализацией указанного заявителем назначения.

Для того чтобы изобретение было осуществлено, оно должно быть раскрыто в заявке на изобретение с достаточной полнотой. Возможность осуществления доказывается приведением в описании изобретения примеров, подтверждающих возможность его воплощения в материальный объект.

Являются неосуществимыми изобретения, признаки которых неопределенно сформулированы в описании. Такие ситуации очень часто встречаются в заявках на устройство, представляющее электрическую блок-схему. Изобретение должно быть работоспособным. Например, лампочка — светить, усилитель — усиливать. Неработоспособные изобретения обычно основаны на ошибочных расчетах и предположениях, противоречащих известным научным законам и теориям.

Описывая изобретение в этом разделе, нельзя утаивать такие сведения, без которых его невозможно осуществить. Вместе с тем необходимо следить, чтобы приводимый объем информации не был избыточным и не раскрывал «ноу-хау». Под «ноу-хау» в данном случае следует понимать такие тонкости в реализации изобретения, технологические и другие секреты, которые позволяют получить наивысший технический результат. Отсутствие в описании таких секретов ни в коей мере не должно препятствовать реализации изобретения по его описанию.

Важной частью данного раздела являются примеры осуществления изобретения, которые представляются с учетом специфики вида объекта изобретения.

Для лечебных веществ и медицинских способов для доказательства промышленной применимости апробация не требуется. Она необходима для получения разрешения на использование таких изобретений.

### **3.5. ОСОБЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

#### **3.5.1. Устройство как объект изобретения**

Под устройством как объектом изобретения понимают конструктивные изобретения, т. е. орудия труда и изделия, такие как машины, приборы, установки, агрегаты, технические линии, сооружения и т. п., а также их узлы и детали.

Устройство необходимо сначала описать в статическом состоянии, раскрыть его конструктивное выполнение, делая ссылки на фигуры чертежей. Цифровые обозначения конструктивных элементов приводятся по мере упоминания в порядке возрастания.

Затем описывают работу устройства со ссылками на фигуры чертежей, а при необходимости — иные поясняющие материалы (эпюры, временные диаграммы, графики и т. п.).

Данный раздел описания имеет особенности для устройств в области электротехники, радиотехники, автоматики, вычислительной техники, представленных в виде схем. При характеристике сущности таких решений широко используются функциональные признаки.

Функциональный признак (блок) в формуле изобретения может быть выражен общепринятым термином, например сумматор, счетчик, схема сравнения, логические элементы И, ИЛИ, НЕ и т. д. Такой признак характеризует известную специалистам совокупность существенных признаков независимо от того, указаны они в материалах заявки или нет. Использование таких блоков для решения различных задач не меняет их функционального построения. Поэтому в описании достаточно лишь указать на наличие такого блока, не раскрывая форму его выполнения.

Иногда для выражения используют необщепринятые названия блоков, например блок принятия решения, прогнозирующий блок и т. п. В описании следует обязательно раскрывать функциональное построение таких блоков, правила их построения.

Часто в число существенных признаков входят процессоры, микропроцессоры и т. п. В материалах заявок таких изобретений необходимо представить функциональную схему устройства, где микропроцессор или ЦВМ были бы показаны только в пределах выполняемой ими функции, а в описании целесообразно привести информацию о том, каким конкретно процессором или машиной реализуются указанные функции.

Если блок назван и описан так, что функция его ясна, но неизвестно построение, заявителю следует раскрыть функциональное построение блока. При описании функции блока математическим выражением следует представить функциональную схему. Если у блока, который является общим с прототипом, появились новые связи, в материалах заявки следует привести внутреннюю структуру блока с соответствующей степенью детализации. В ней должны быть отражены точки, используемые как дополнительные входы и выходы.

### 3.5.2. Способ как объект изобретения

К способам как объектам изобретения относятся процессы выполнения взаимосвязанных действий (приемов, операций) над материальными объектами (устройством,

средой, электрическим зарядом, магнитным полем и др.) с помощью материальных объектов.

В отличие от устройства, которое может быть и в неподвижном состоянии, и в динамическом (работать) и не перестает от этого быть устройством, способ представляет собой комплекс действий. Он не может существовать в неподвижном состоянии. Способ существует лишь в тот период времени, пока идут действия, пока осуществляются во времени приемы, составляющие в своей совокупности способ. Отсюда, в частности, вытекает, что всякие подготовительные операции, предшествующие способу как технологическому процессу, не являются признаками способа как объекта изобретения.

Можно сказать, что способ — это определенная последовательность действий (операций, приемов), производимых человеком или машиной, на которую человек возлагает выполнение тех или иных операций, над материальными объектами, в результате которых эти объекты претерпевают те или иные изменения (деформации, преобразования и т. п.) и достигается поставленная цель.

Чтобы подтвердить возможность осуществления изобретения, относящегося к способу, необходимо указать на последовательность приемов, операций над материальным объектом, условия их проведения, конкретные режимы (временные, температурные и т. п.), используемые устройства, вещества, штампы.

Если способ реализуется с помощью известных устройств, веществ, штампов, то в этом разделе они лишь указываются и при необходимости делается ссылка на те источники информации, в которых они описаны. Если же средства новые, то приводят их описание и графическое изображение. Когда используются новые вещества, раскрывают способ их получения.

Для способа получения смеси неустановленного состава и структуры с конкретным назначением или биологически активными свойствами примеры включают, кроме описания приемов и условий проведения способа, сведения о самой смеси, необходимые для ее идентификации, а также сведения, подтверждающие возможность реализации указанного заявителем назначения смеси.

Для изобретения, относящегося к способу лечения, диагностики или профилактики заболевания людей или животных, приводятся сведения о выявленных факторах, влияющих на этиопатогенез заболевания или



обуславливающих наличие связи между этиопатогенезом и используемыми диагностическими показателями, а в случае отсутствия таких сведений достоверные данные, подтверждающие пригодность способа для лечения, диагностики или профилактики указанного заболевания.

### 3.5.3. Вещество как объект изобретения

К веществам как объектам изобретений относятся:

а) вещества, полученные нехимическим путем, т. е. простым, механическим смешением ингредиентов (смеси, замазки, пасты и т. п.);

б) вещества, полученные физико-химическим превращением: в них вместе с механическим смешением происходят некоторые химические процессы, которые практически трудно выявить (сплавы, керамические массы, строительные материалы, стекло и т. п.).

Особенность вещества как объекта изобретения, отличающая его от других объектов изобретений, в частности от устройства, заключается в том, что оно не имеет такой законченной внешней формы, какой обладает устройство, и не перестает быть веществом после того, как ему придана какая-то другая форма. Например, пластилин останется пластилином, какую бы внешнюю конфигурацию ему ни придавали.

Вещество как объект изобретения характеризуется физическими, а не химическими связями входящих в него компонентов (ингредиентов).

Таковыми признаками могут быть:

новые компоненты, из которых составлено вещество, или новые компоненты, добавленные в известное вещество, или изменение числа компонентов, входящих в состав вещества;

новая структура компонентов вещества, новое соотношение их размеров;

новое соотношение (процентное, весовое и др.) составляющих вещество компонентов;

сочленение двух или более из числа перечисленных признаков;

применение вещества по новому назначению.

Если новые соединения относятся к биологически активным, приводятся показатели активности и токсичности для них, а в случае необходимости — избирательности действия и другие показатели.

Для промежуточного соединения должна быть показана возможность его переработки в известный конечный продукт либо возможность получения из него нового конечного продукта с конкретным назначением или биологически активными свойствами.

#### **3.5.4. Штамм микроорганизма, культура клеток растений или животных**

Для штамма следует указать номенклатурные данные и его происхождение, данные о количественном и качественном составах питательных сред, условиях культивирования, времени ферментации, характеристике биосинтеза, полезных продуктах, уровне активности штамма и способах ее определения. Для штаммов — продуцентов новых целевых продуктов нужно привести сведения о способе выделения и очистки целевых продуктов.

Для консорциумов микроорганизмов и культур клеток указывают метод проверки наличия компонентов, метод выделения (селекции) и признаки, по которым велась селекция, стабильность консорциума как такового при длительном культивировании, устойчивость к заражению посторонними микроорганизмами.

Возможность осуществления изобретения, относящегося к штамму микроорганизма, культуры клеток или способам, в которых он используется, подтверждается указанием на то, как или где может быть получен соответствующий штамм.

Возможность получения штамма может быть подтверждена описанием способа его получения или представлением документа о его депонировании, оформленного в установленном порядке. Дата депонирования должна предшествовать дате приоритета.

#### **3.5.5. Применение устройства, способа и вещества по новому назначению**

Применение известного устройства по новому назначению — это использование объекта с достижением таких результатов, для которых он не предназначался первоначально, с использованием таких его свойств (качеств), которые ранее, при применении объекта по известному назначению, не использовались.

Изобретения подобного вида характеризуются тем, что в прототип не добавляется никаких изменений, не вносятся никаких новых признаков, техническое решение задачи достигается без всяких конструктивных изменений устройства. Творчество здесь состоит в том, что в результате анализа, исследований, расчетов, экспериментов изобретатель устанавливает возможность применения данного устройства для решения новых неожиданных задач. Например, порошковая муфта стала применяться в качестве датчика усилия. Чтобы быть предметом изобретения, в данном случае устройство должно применяться по другому назначению, а не по тому, для которого оно было предназначено.

Описание такого изобретения отличается от описания обычного конструктивного изобретения следующим.

Название изобретения в этом случае не совпадает с начальными словами формулы изобретения. В формуле изобретения указывается, например: «Применение устройства для...» по такому-то назначению, а в названии указывается объект, применяемый по новому назначению.

Далее указывается та новая область техники, в которой будет применяться устройство.

Поскольку прототипа в данном предложении нет, вместо его описания и критики следует привести критику того объекта, в качестве которого будет применяться предлагаемое устройство, указать, почему этот объект не может обеспечить ожидаемого от применения предлагаемого устройства эффекта.

Далее, вместо описания сущности устройства, т. е. вместо описания его работы в статике и динамике, нужно разъяснить, описать характер применения устройства по другому назначению, указать, в каком качестве и где применялось это устройство ранее, как предлагается его применить и какие новые качества возникают благодаря новому применению устройства, какой эффект дает его применение.

Способы, характеризующиеся применением их по новому назначению, чрезвычайно редки. Условия применения такого способа изобретателем те же, что и для устройства, применяемого по иному назначению — для решения новой неочевидной технической задачи.

Если вещество применяется по новому назначению, то описание и формула изобретения в этом случае так же имеет ряд особенностей, как и в случае изобретения на применение устройства.

### 3.6. ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

#### 3.6.1. Значение формулы изобретения и требования, предъявляемые к ней

Формула изобретения — это краткое словесное изложение признаков изобретения, определяющих объем изобретения, т. е. конкретная письменная редакция предмета изобретения. Предмет же изобретения — это объект изобретения в виде устройства, способа или вещества, охарактеризованный в формуле изобретения.

Объем прав патентообладателя определяется формулой изобретения. Описание и поясняющие его материалы используются лишь для ее толкования. Поэтому основное значение формулы изобретения — правовое. Оно определяет объем патентных притязаний и тем самым — границы возможного использования изобретения.

Объем юридической охраны — это тот круг реализованных на практике объектов техники и технологии, на которые распространяются права патентообладателя. При установлении факта использования изобретения учитывают его формулу.

Использование изобретения или полезной модели без разрешения патентообладателя свидетельствует о нарушении его прав.

Формула имеет решающее значение и при оценке патентоспособности изобретения, так как экспертиза по существу проводится в объеме формулы изобретения, представляемой заявителем.

Формула изобретения имеет и информационно-техническое значение. Она публикуется ранее полного описания изобретения и содержит сведения о созданном техническом новшестве.

Общие требования к написанию формулы изобретения состоят в следующем:

1. Формула изобретения должна излагаться в виде одного предложения, части которого отделяются друг от друга запятыми, но не точками и не точками с запятыми.

2. Формула имеет свои особенности в зависимости от объекта изобретения.

3. Поскольку объем прав патентообладателя определяется признаками изобретения, которые перечислены в формуле изобретения, нужно указать минимально необходимое количество этих существенных признаков.

Тогда, кстати сказать, и формула не будет громоздкой, неудобочитаемой.

4. Признаки, указанные в формуле изобретения, не должны допускать произвольных, противоречивых толкований. Термины, употребляемые в формуле изобретения, должны быть емкими, но определенными и точными. Поэтому не допускается употребление таких слов, как «специальный», «определенный», «быстрый», «достаточно прочный» и т. п. В формуле изобретения нужно раскрывать, что означают «быстрый», «достаточно прочный», «горячий» и т. п. термины, нужно указывать величины скорости, пределы прочности, температуры.

В формуле изобретения нельзя употреблять и такие неопределенные слова, как «более тонкий», «большая скорость» и т. п. Их можно употреблять лишь тогда, когда за ними следует слово «чем», т. е. когда имеется ясный объект сравнения, определяющий пределы толщины, скорости и т. п.

5. В формуле изобретения недопустимо использование альтернативных признаков (они допускаются, если являются эквивалентными и не могут быть обобщены общим понятием). Альтернатива, как указано в Большой энциклопедии — это необходимость выбора между двумя или несколькими исключаящими друг друга возможностями. Следовательно, если в формуле изобретения указать, что устройство снабжено элементом А, выполненным из металла или из дерева, то это может оказаться нарушением единства изобретения, поскольку дерево и металл далеко не всегда могут быть техническими эквивалентами, т. е. иметь одинаковую сущность, создавать одинаковый эффект, выполнять одинаковые функции. Точно так же исключают друг друга такие признаки, как нагрев и охлаждение. Операция нагрева не может проводиться одновременно с операцией охлаждения — это альтернативные, исключаящие друг друга признаки.

Таким образом, чтобы формула изобретения выполняла свои функции, к ней предъявляется ряд требований, в том числе полноты, общности, определенности и лаконичности.

Однако стремление к соблюдению требования общности ведет к потере определенности. Это противоречие частично разрешается построением многозвенной формулы.

В формуле изобретения можно указывать только те признаки, которые действительно принадлежат изобре-

тению. Поэтому, составляя формулу, нельзя указывать, что из устройства исключен какой-либо элемент, из композиции — ингредиент, из способа — операция, прием, т. е. использовать негативную новизну.

Формула изобретения должна быть составлена с соблюдением требования единства. В ней должна содержаться не постановка задачи, а ее решение. Изобретение следует характеризовать признаками объекта, а не его свойствами.

### 3.6.2. Структура формулы изобретения

Для удобства анализа формула изобретения делится на две части: ограничительную и отличительную, отличающуюся от ограничительной словом «отличающееся» (-ийся, -щаяся).

Ограничительная часть содержит:

название изобретения, дословно повторяющее название изобретения, указанное в заявлении и описании изобретения;

перечисление известных (ограничительных) признаков, общих для прототипа и объекта изобретения или сходных с признаками объекта изобретения.

Отличительная часть содержит перечисление новых, отличительных признаков, отличающих предмет изобретения от сходных с ним предметов.

Рассмотрим следующую формулу изобретения: «Приемник, содержащий последовательно включенные антенну, усилитель высокой частоты, детектор и оконечный аппарат, отличающийся тем, что в него введены гетеродин, смеситель и усилитель промежуточной частоты, причем между выходом усилителя высокой частоты и входом детектора последовательно включены смеситель, второй вход которого соединен с выходом гетеродина, и усилитель промежуточной частоты».

Здесь на базе детекторного приемника разработан супергетеродинный приемник. Слово «приемник» является общим, родовым понятием для прототипа и объекта изобретения. Ограничительные признаки: последовательно включенные антенна, усилитель высокой частоты, детектор и оконечный аппарат (громкоговоритель, магнитофон и т. п.).

Цель изобретения — повышение чувствительности приемника. Чувствительность приемника — это минимальная мощность на входе приемника, обеспечивающая

нормальную работу оконечного аппарата. Для детекторного приемника —  $P_{\text{вх}} = 10^{-3}$  вт, для супергетеродинного приемника —  $P_{\text{вх}} = 10^{-6}$  вт.

**Отличительные признаки:** гетеродин, смеситель, усилитель промежуточной частоты и их связи между собой и с ограничительными признаками.

Формула изобретения может быть однозвенной и многозвенной. Первый пункт в формуле всегда независимый. В него включаются признаки, достаточные для получения технического результата, проявляющегося во всех случаях, на которые распространяется испрашиваемый объект правовой охраны.

Зависимый пункт формулы начинается с сокращенного названия изобретения, указанного в независимом пункте формулы изобретения, и ссылки на тот пункт, признаки которого он дополняет. Отличительная часть строится по тем же правилам, что и у независимого пункта. Например: 2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что ...

Многозвенная формула может характеризовать сущность одного или группы изобретений. Технический результат в формуле изобретения не указывается.

### **3.8.3. Особенности формулы изобретения в зависимости от вида объекта**

Сущность конструктивного или схемного решения характеризуется признаками объекта в статическом состоянии, а это означает, что в формуле не должно быть глаголов, выражающих незавершенное действие. Так как в формуле устройства нельзя описывать его работу, то в ней не должно быть глаголов изъявительного наклонения, оканчивающихся на «-ся» (подается, соединяется, и т. п.), а также глаголов в третьем лице множественного числа, оканчивающихся на «-ют» (подают, соединяют и т. п.), выражающих незавершенное действие.

Если необходимо указать на вновь введенные элементы, используют краткие причастия «расположен», «снабжен», «установлен», «смонтирован» и т. п., а для отражения подвижности элементов — выражения типа «установлен с возможностью поворота, перемещения, вращения и т. п.».

Для характеристики особой формы выполнения устройства, например формы элемента или взаимосвязи, используют полные причастия.

Допускается использование глаголов: «представляет», «содержит», «имеет».

Для выражения сущности способа в формуле используют глаголы действительного залога в изъявительном наклонении в третьем лице множественного числа, т. е. с окончанием на «-ут», «-ют», «-ат», «-ят», например, «нагревают», «обрабатывают», «дают». В ограничительной части можно использовать отглагольные существительные (вращают — вращение), а после названия способа в качестве вводного слова использовать «закрывающийся в том, что» или «путем».

Когда имеется большое количество действий, совершаемых одновременно, основное в техническом смысле действие выражают глаголом, а дополнительное деепричастием, например «нагревают смесь до температуры  $x$ , постоянно перемешивая».

При характеристики вещества — композиции в ограничительной части формулы указывают название изобретения и ингредиент, совпадающие с признаками прототипа (без количественного содержания). В отличительной части приводят вновь введенные ингредиенты, используя для этого оборот «дополнительно содержит», а затем — весь рецептурный состав композиции. Количественное содержание ингредиентов может быть выражено в любых единицах (однозначных), как правило, двумя значениями, характеризующими минимальный и максимальный пределы содержания (нижний и верхний).

#### П р и м е р.

Смазочный состав, содержащий гидрированные димеры альфаметилстирола, отличающийся тем, что он дополнительно содержит вазелиновое масло, при следующем соотношении ингредиентов, мас. %:

Гидрированные дамеры альфаметилстирола — 35–70,  
Вазелиновое масло — до 100.

Формула на индивидуальное химическое соединение не имеет ограничительной и отличительной частей. В формулу такого вещества включается наименование или обозначение соединения. Для соединения с установленной структурой в формулу изобретения включается его структурная формула. Для соединения с неустановленной структурой в формулу изобретения включаются его характеристики (свойства), позволяющие идентифицировать это соединение, в том числе и признаки способа его получения.



Формула изобретения на применение составляется без разделения на части и имеет следующую структуру:

«Применение А в качестве Н,

где А — известный объект, Н — его новое назначение».

П р и м е р.

Мелиорант почвы.

«Применение льняной костры — отхода первичной обработки льна в качестве мелиоранта почвы».

Формула штамма микроорганизма, культуры клеток также не имеет ограничительной и отличительной частей. В нее включается родовое и видовое название биологического объекта на латинском языке с указанием фамилий авторов, видов и, если штамм депонированный, — аббревиатуры официальной коллекции — депозитария, регистрационный номер, присвоенный коллекцией депонированному объекту, и назначение штамма.

П р и м е р.

Штамм бактерий *Citrobacter freundil* .....

ВКПМ В-4144, образующий антикоррозионную пленку на поверхности металлов.

### 3.7. ЧЕРТЕЖИ И ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Чертежи и иные материалы представляют в том случае, когда они необходимы для понимания сущности изобретения, изложенного в описании. Они должны быть согласованы с описанием и могут быть представлены в виде собственно чертежей, схем, графиков, эюр, фотографий, таблиц, диаграмм и т. п. Рисунки допустимы лишь в том случае, когда невозможно проиллюстрировать описание чертежом или схемой, а фотографии — как дополнение к другим видам графических материалов.

В правом верхнем углу каждого листа графических изображений указывают название изобретения. Графические материалы выполняют черными нестираемыми линиями. Масштаб изображения должен допускать воспроизведение с линейным уменьшением до 2/3. Предпочтение отдается прямоугольной проекции. Размеры на чертежах не проставляют. На одном чертеже можно располагать несколько фигур, при этом они четко отграничиваются друг от друга. Элементы графических изображений обозначают арабскими цифрами в соответствии с

описанием изобретения. Одни и те же элементы, представленные на нескольких фигурах, обозначают одной и той же цифрой.

Если на чертеже представлена схема, то должны быть использованы стандартизованные условные графические изображения. Если схема представлена в виде прямоугольников, то кроме цифрового обозначения в прямоугольник вписывается название элемента. При необходимости название можно указывать на выносной линии. Фотографии малого формата наклеивают на стандартные листы белой бумаги. Каждое графическое изображение нумеруют арабскими цифрами (фиг. 1, фиг. 2 и т. д.) в соответствии с очередностью в описании изобретения. Если фигура всего одна, то ее не нумеруют. Графические изображения нельзя приводить ни в описании, ни в формуле.

### 3.8. РЕФЕРАТ

Основное назначение реферата — информационное. В нем должно содержаться краткое изложение содержания описания изобретения, включая:

название;

характеристику области техники, к которой относится изобретение, и/или области его применения, если это не ясно из названия изобретения;

характеристику сущности изобретения с указанием достигаемого технического результата;

чертежи (при необходимости);

дополнительные сведения (указание на наличие и количество зависимых пунктов формулы изобретения, графических изображений, таблиц).

Сущность изобретения в реферате характеризуется путем свободного изложения формулы изобретения. Важно в реферате указать все существенные признаки каждого независимого пункта. При необходимости в реферат включают чертежи или химическую формулу. Чертеж, включаемый в реферат, представляют на отдельном листе в трех экземплярах.

Средний объем текста реферата — до 1000 печатных знаков.

**П р и м е р.**

«Линза для офтальмологических операций».

Изобретение может найти применение в медицине, например, при проведении операций на сетчатке глаза

и стекловидном теле. Линза имеет две преломляющие сферические поверхности, обращенные вогнутостью к хрусталику глаза. Соотношение оптических сил поверхностей составляет 2–4. Оптические оси поверхностей расположены по отношению друг к другу под острым углом. Оптимальная величина угла 15–45°. Линзу предпочтительно изготавливать из кварцевого стекла или силикона. Линза позволяет существенно уменьшить блики и повысить контраст изображения, создает комфортные условия наблюдения. 1 с. п. ф-лы, 2 з. п. ф-лы, 1 ил.

### **3.9. ДОКУМЕНТ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЙ УПЛАТУ ПОШЛИНЫ**

С 19.08.1996 г. введено в действие Положение о пошлинах за патентование изобретений, полезных моделей, промышленных образцов, регистрации товарных знаков, знаков обслуживания, наименование мест происхождения товаров, предоставления права пользования наименованиями мест происхождения товаров.

Пошлины уплачиваются в установленном порядке путем перевода соответствующих сумм на расчетный счет ФИПС. Документом, подтверждающим уплату пошлины, является копия платежного поручения, заверенная банком, или квитанция Сбербанка РФ. Документ, подтверждающий уплату пошлины, действителен для представления в течение трех месяцев с даты перевода суммы на соответствующий расчетный счет. Указанный документ должен содержать регистрационный номер заявки или патента, свидетельства, если этот документ представляется после поступления заявки в Патентное ведомство, и наименование действия, за которое уплачена пошлина. Если эти сведения отсутствуют, документ считается недействительным.

В платежном поручении необходимо привести следующие данные:

Получатель: ФИПС, ИНН 7330036073, код по ОКПО 48530485, код по ОКОНХ 95120, расчетный счет № 40503810100000000025.

Банк получателя: КБ «Импэксбанк», г. Москва, БИК 044585762, корр/счет 30101810200000000762.

Наименование платежа: например, пошлина за подачу заявки на изобретение: «Способ синхронизации часов».

В соответствии с Положением о пошлинах размер патентной пошлины за подачу заявки на одно изобретение составляет 2 МРОТ, за проведение экспертизы заявки по существу — 3 МРОТ, за выдачу патента на изобретение — 4 МРОТ.

### 3.10. ДОВЕРЕННОСТЬ

К заявке, подаваемой через патентного поверенного, прилагается доверенность, выданная ему заявителем и удостоверяющая его полномочия, либо копия доверенности.

Доверенность на представительство перед Патентным ведомством, оформляемая в РФ, совершается в простой письменной форме и не требует нотариального заверения. Она представляется одновременно с заявкой или не позднее двух месяцев с даты поступления заявки.

Доверенность, выдаваемая заявителем на имя патентного поверенного, должна отвечать следующим условиям: доверенность подписывается заявителем;

доверенность выдается на имя физического лица, зарегистрированного в Патентном ведомстве РФ в качестве патентного поверенного;

в доверенности должна быть указана дата ее совершения, без которой она недействительна.

Срок действия доверенности не может превышать три года. Если срок действия в доверенности не указан, она считается действительной в течение одного года с даты ее совершения. Доверенность может быть выдана на имя нескольких патентных поверенных.

### 3.11. ТРЕБОВАНИЯ К ДОКУМЕНТАМ ЗАЯВКИ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

Заявка на полезную модель должна быть оформлена с соблюдением требования единства, т. е. относиться к одной полезной модели либо к группе полезных моделей, связанных между собой настолько, что они образуют единый творческий замысел.

Требования единства соблюдены, если:

заявка относится к одной полезной модели;

заявка относится к одной полезной модели, охарактеризованной с развитием и/или уточнением применительно к предусмотренным заявителем частным

случаям выполнения и/или использования, не приводящем к замене или исключению одного или нескольких признаков, характеризующих ее во всех случаях, на которые распространяется испрашиваемый объем правовой охраны;

заявка относится к группе полезных моделей, в частности:

а) к полезным моделям, одна из которых предназначена для изготовления другой (например, устройство и устройство для его изготовления);

б) к полезным моделям, одна из которых предназначена другой или в другой (например, устройство и его составная часть);

в) к полезным моделям одинакового назначения, обеспечивающим получение одного и того же технического результата одним и тем же путем (вариантам).

Описание, формулу, чертежи и реферат оформляют так же, как и на изобретение, объектом которого является устройство.

### **3.12. ВЕДЕНИЕ ДЕЛ ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПАТЕНТА С ПАТЕНТНЫМ ВЕДОМСТВОМ**

Оформленная заявка на изобретение или полезную модель подается в ФИПС.

Для ведения переписки по заявке после ее подачи и защиты своих интересов заявитель может назначить представителя с выдачей ему доверенности, которая оформляется так же, как и доверенность, выдаваемая патентному поверенному. Представителем российского заявителя может быть любое лицо, а не только патентный поверенный.

Переписка ведется заявителем или его представителем по каждой заявке в отдельности. Материалы, направляемые после подачи заявки, должны содержать ее номер и подпись заявителя или его представителя. Очень важно, чтобы все материалы поступали в установленные сроки.

Заявка может быть рассмотрена с участием заявителя путем переговоров или на экспертном совещании. Такое предложение может поступить как со стороны ФИПС, так и заявителя. Дата и время рассмотрения заявки предварительно согласовываются. Лицо, не являющееся единственным заявителем, может участвовать в рассмотрении

заявки лишь при наличии доверенности на представительство.

После подачи заявки заявитель может переуступить свое право на получение патента иному лицу. Для этого в Патентное ведомство подается заявление, содержащее указание на переуступку права иному лицу, согласие лица, указанного в заявлении, и сведения о нем. К заявлению прилагается документ об уплате пошлины за его подачу.

По истечении двух месяцев с даты поступления заявки Патентное ведомство проводит по ней формальную экспертизу, в ходе которой проверяется наличие необходимых документов и соблюдение установленных требований к ним. О положительном результате формальной экспертизы заявитель уведомляется.

По ходатайству заявителя или третьих лиц, которое может быть подано в любое время в течение трех лет с даты поступления заявки, Патентное ведомство проводит экспертизу заявки по существу с помощью экспертов соответствующих отделов (например, 02 — отдел металлургии, 03 — отдел горного дела и строительства, 09 — отдел радиотехники и связи, 10 — отдел приборостроения, 11 — отдел транспортной техники, 12 — отдел легкой промышленности, 13 — отдел пищевой промышленности и биотехнологий, 14 — отдел медицины, 15 — отдел ветеринарии, 21 — отдел измерительной техники и т. д.).

Если в результате экспертизы заявки по существу Патентное ведомство установит, что заявленное изобретение, выраженное формулой, соответствует условиям патентоспособности, выносится решение о выдаче патента с этой формулой.

При установлении несоответствия заявленного изобретения условиям патентоспособности выносится решение об отказе в выдаче патента.

Заявитель может подать в Апелляционную палату Патентного ведомства возражение на решение об отказе в выдаче патента в течение трех месяцев с даты получения решения. Возражение должно быть рассмотрено Апелляционной палатой в течение четырех месяцев с даты его поступления. При несогласии заявителя с решением Апелляционной палаты он может в течение шести месяцев с даты его получения обратиться с жалобой в Высшую патентную палату. Решение Высшей патентной палаты является окончательным.

Патентное ведомство после принятия решения о выдаче патента, при условии уплаты заявителем пошлины за выдачу патента, публикует в своем официальном бюллетене сведения о выдаче патента, включающее имя автора (авторов), если последний (последние) не отказался быть упомянутым в качестве такового (таковых), и патентообладателя, название и формулу изобретения или полезной модели.

## ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 4.1. МЕЖДУНАРОДНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРЕТЕНИЙ

В декабре 1954 года большинство стран мира подписали Конвенцию о применении международной патентной классификации (МПК), так первоначально называлась международная классификация изобретений (МКИ). Ее принял и бывший СССР.

Основная цель создания МКИ — это стремление унифицировать различные системы классификации изобретений, применяемые в настоящее время на базе единой классификации. Полная схема МКИ применяется с 1968 года. В СССР она введена в 1971 году, и весь отечественный фонд описаний изобретений был расклассифицирован в соответствии с этой схемой.

МКИ периодически пересматривается. Вторая ее редакция применялась с 1975 года, а третья редакция — с 1980 года. В настоящее время действует шестая редакция.

Все объекты группируются в 8 основных разделах, обозначаемых заглавными буквами латинского алфавита от А до Н:

- А. Удовлетворение жизненных потребностей человека.
- В. Различные технологические процессы.
- С. Химия и металлургия.
- Д. Текстиль и бумага.
- Е. Строительство. Горное дело.
- Ф. Механика; освещение; отопление; двигатели и насосы; оружие и боеприпасы; взрывные работы.
- Г. Физика.
- Н. Электричество.

Классы обозначаются двузначными арабскими цифрами от 01 до 99 и присоединяются к букве раздела через один интервал (А 01; В 64). Классы подразделяются на подклассы, которые обозначаются заглавными согласными



буквами латинского алфавита, начиная с буквы «В» и приставляются после цифры класса (А 01 В, В 64 G). Деления МКИ, доведенные до подкласса, составляют основную схему классификации.

Групповые рубрики, применяемые в пределах подкласса, имеют числовые индексы, каждый из которых состоит из однозначного или двузначного числа, обычно нечетного, за которым следует косая черта и подчиненные рубрики — подгруппы.

Необходимо учитывать, что порядок чтения текста подгруппы имеет большое значение для понимания их содержания. Так, например, текст подгруппы «С 03 С 17/14... на плоском или вогнутом стекле» должен пониматься так: «Покрытие плоской или вогнутой поверхности стекла металлами мокрыми способами с созданием зеркальной поверхности на плоском или вогнутом стекле», так как перед указанной подгруппой помещены следующие «старшие» по отношению к ней подгруппы, входящие в группу С 03 С 17/00:

С 03 С 17/00 — покрытие поверхности стекла;

С 03 С 17/06 — ...металлами;

17/08 — ...мокрыми способами;

17/12 — ...создание зеркальной поверхности (серебряное покрытие).

При отыскании классификационного индекса по МКИ первоначально следует обратиться к «Алфавитно-предметному указателю к МКИ», в котором в алфавитном порядке следуют ключевые слова. Например, отрасль техники, которой соответствуют: «электрические генераторы, питание сети от нескольких параллельно включенных генераторов постоянного тока», имеют индекс Н 02 К 25/00 — 23/68, 25/00, 29/02, 31/00 31/04.

## 4.2. ИСТОЧНИКИ ПАТЕНТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Патентные исследования (поиск) проводят с целью определения уровня техники, выявления аналогов и прототипа. Для их проведения используют МКИ и патентную информацию.

Эффективность использования патентной информации во многом определяется способностью обеспечить к ней оперативный и удобный доступ. А для этого следует хорошо ориентироваться в потоке патентной информации: различать информацию разного назначения и содержа-

ния, отбирать в ней наиболее оперативные, полные и удобные для использования сообщения.

Под патентной информацией понимают совокупность различных источников информации об отечественных и зарубежных изобретениях, официально зарегистрированных патентными ведомствами и защищенных авторскими свидетельствами и патентами.

Информация об изобретениях бывает полной, реферативной и библиографической. Единственным источником полной информации об изобретении является его описание, которое публикуется в составе отдельных брошюр, либо в виде листков к каждому официально зарегистрированному в данной стране изобретению. Публикация информации об изобретениях осуществляется в патентных ведомствах 68 стран мира и в двух международных организациях.

Реферативную информацию (в форме реферата или формулы изобретения) публикуют 32 страны и две международные организации. При этом в России, США и Франции, например, формула изобретения (реферат) помещается непосредственно в официальном бюллетене, а в ФРГ, Великобритании и Японии для этого используется специальное приложение к официальному бюллетеню. Текст формулы изобретения (реферата) в официальных изданиях сопровождается основным чертежом, что существенно повышает информативность публикации.

Реферативная информация об изобретениях распространяется также информационными центрами. В России, например, НПО «Поиск» издает на русском языке реферативный сборник «Изобретения стран мира», включающий информацию из официальных изданий России, ФРГ, Болгарии, Польши, Монголии, Кубы, Чехии, Словакии, Великобритании, США, Франции, Швейцарии, Японии, а также ЕПВ и ВОИС. Ежемесячно издается 140 тематических выпусков. Информация публикуется в виде переводов на русском языке формул или рефератов описаний изобретений с воспроизведением текста оригинала, чертежей и полных библиографических данных. Ежегодно в реферативном сборнике издается в среднем 330 тысяч публикаций об изобретениях.

Официальные издания патентных ведомств — это патентные бюллетени, которые содержат исчерпывающую информацию обо всех действующих в данной стране патентах, на основе которой проводится патентная экспертиза. Они издаются как периодические издания, в

большинстве стран как еженедельники или двухнедельники. Все они имеют большое значение при проведении различных поисков, так как в них дается информация обо всех изобретениях с исчерпывающей полнотой. В каждом номере патентного бюллетеня приводятся именные, систематические и нумерационные указатели.

Итак, патентные бюллетени являются необходимым справочным аппаратом изобретателя и позволяют с минимальной затратой времени провести достаточно полный поиск аналогов.

Фундаментальным и наиболее распространенным видом информационных изданий является Реферативный журнал (РЖ) — периодическое издание, в котором публикуются рефераты, получаемые в результате переработки первоисточников, выходящих в 130 странах на 66 языках. РЖ занимает ведущее место в мире по охвату опубликованной научно-технической литературы в виде статей, сборников, монографий, формул изобретений и т. д. Эта информация охватывает более половины всех новых поступлений в ВПТБ.

РЖ построен по отраслевому принципу, издается 239 наименований выпусков, посвященных различным отраслям науки и техники, а также некоторым межотраслевым проблемам. Систематическое обращение к РЖ по теме научно-исследовательской работы способствует выявлению тенденций в развитии науки и техники.

Для обеспечения поиска по РЖ имеется справочный аппарат к сводным томам и отдельным выпускам в виде годового патентного указателя. Он состоит из трех разделов.

**1 раздел.** Патентный указатель номеров авторских свидетельств СССР. В нем приведены в порядке возрастания номера авторских свидетельств и соответствующие им номера рефератов.

**2 раздел.** Указатель номеров патентов зарубежных стран. Патенты сгруппированы по странам. Наименования стран расположены по алфавиту. Указывается номер патента, номер РЖ, зашифрованный буквенный индекс выпуска РЖ и номер реферата в данном выпуске.

**3 раздел.** Систематический указатель авторских свидетельств и патентов. Приведены наименования авторских свидетельств и патентов, систематизированные согласно рубрикатору РЖ в пределах одной рубрики. Авторские свидетельства и патенты расположены по возрастающим номерам рефератов.

Библиографическое описание изобретения обычно содержит сведения о стране, номер и дату выдачи патента, сведения о заявителе, патентообладателе и авторе изобретения, о названии изобретения, индексах патентной классификации и др.

Библиографическую информацию публикуют патентные ведомства 65 стран и две международные организации. Первым источником библиографических сведений являются официальные бюллетени патентных ведомств.

Библиографическую информацию об изобретениях можно также получить и по другим каналам: через справочные издания и машиночитаемые базы данных информационных центров.

Образцом библиографической информации об отечественных изобретениях является «Указатель авторских свидетельств и патентов», опубликованных в соответствующем бюллетене. Годовой указатель в шести томах служит справочно-поисковым средством и представляет собой систему указателей, позволяющих вести поиск по ряду признаков. Предметно-статистические указатели весьма полезны при оценке современного уровня и прогнозирования развития науки и техники.

## **ПОЛОЖЕНИЯ О ПОШЛИНАХ ЗА ПАТЕНТОВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ПОЛЕЗНЫХ МОДЕЛЕЙ**

(в сокращенном виде, в ред. Постановления Правительства РФ  
от 12.08.96, № 947)

1. За патентование изобретений, полезных моделей, промышленных образцов взимаются патентные пошлины в следующем порядке:

а) за подачу заявки на выдачу патента РФ на изобретение (далее именуется заявка на изобретение) взимается пошлина в размере 2 минимальных размеров оплаты труда (МРОТ) и дополнительно 0,3 МРОТ за каждый пункт формулы изобретения свыше пяти.

За подачу заявки на выдачу свидетельства РФ на полезную модель (далее именуется заявка на полезную модель) взимается пошлина в размере 1 МРОТ и дополнительно 0,1 МРОТ за каждый пункт формулы полезной модели свыше пяти.

Документ, подтверждающий уплату пошлины за подачу заявки на изобретение, полезную модель, прилагается к заявке при подаче ее в организацию, осуществляющую функции государственного Патентного ведомства РФ по приему и рассмотрению заявок (далее именуется уполномоченная организация).

Пошлина уплачивается, и документ, подтверждающий уплату пошлины, представляется в уполномоченную организацию в течение 2 месяцев с даты получения заявителем уведомления о необходимости ее уплаты;

б) за внесение по инициативе заявителя дополнений, исправлений и уточнений в материалы заявки на изобретение или полезную модель после подачи ходатайства о досрочном начале проведения по ней формальной экспертизы или по истечении 2 месяцев с даты поступления заявки на изобретение взимается пошлина в размере 0,5 МРОТ.

Если дополнения, изменения и уточнения материалов заявки на изобретение, представленные по инициативе

заявителя или по запросу экспертизы, предполагают включение в формулу изобретения пунктов, отсутствующих в ранее предложенной заявителем и принятой к рассмотрению формуле, дополнительно взимается пошлина в размере 0,3 МРОТ за каждый новый пункт формулы — до подачи ходатайства о проведении экспертизы заявки по существу и в размере 2,4 МРОТ за каждый новый независимый пункт формулы после подачи указанного ходатайства.

Если дополнения, изменения и уточнения материалов заявки на полезную модель, представленные по инициативе заявителя или по запросу экспертизы, предполагают включение в формулу полезной модели пунктов, отсутствующих в ранее предложенной заявителем и принятой к рассмотрению формуле, дополнительно взимается пошлина в размере 0,1 МРОТ за каждый новый пункт формулы.

Пошлина устанавливается не ранее чем за 3 месяца до представления материалов, содержащих дополнения, изменения и уточнения.

Документ, подтверждающий уплату пошлины, прилагается к этим материалам;

в) за проведение экспертизы заявки по существу в отношении одного изобретения взимается пошлина в размере 3 МРОТ. За проведение экспертизы заявки по существу в отношении группы изобретений взимается пошлина в размере 3 МРОТ и дополнительно 2,4 МРОТ за каждый независимый пункт формулы изобретения свыше одного.

При наличии в заявке отчета об информационном поиске, проведенном уполномоченной организацией, размер указанной пошлины уменьшается на 50 процентов.

Пошлина уплачивается не ранее чем за 3 месяца до подачи ходатайства о проведении экспертизы заявки по существу. Документ, подтверждающий уплату пошлины, прилагается к ходатайству;

г) за преобразование заявки на полезную модель в заявку на изобретение взимается пошлина в размере 0,6 МРОТ и дополнительно 0,2 МРОТ за каждый пункт формулы изобретения свыше пяти.

За преобразование заявки на изобретение в заявку на полезную модель взимается пошлина в размере 0,1 МРОТ. Пошлина уплачивается не ранее чем за 3 месяца до подачи заявления о преобразовании заявки. Документ, подтверждающий уплату пошлины, прилагается к заявлению;

д) за продление срока ответа на запрос экспертизы взимается пошлина за каждый месяц продления:

до 6 месяцев с даты истечения срока, установленного законодательством для ответа на запрос экспертизы, — в размере 0,2 МРОТ;

от 6 до 12 месяцев с даты истечения указанного срока — в размере 0,5 МРОТ;

свыше 12 месяцев с даты истечения указанного срока — в размере 1 МРОТ.

Пошлина уплачивается не ранее чем за 3 месяца до обращения с просьбой о продлении установленного срока. Документ, подтверждающий уплату пошлины, прилагается к материалам, содержащим указанную просьбу;

е) за подачу в Апелляционную палату государственного патентного ведомства РФ (далее именуется Апелляционная палата) возражения:

на решение об отказе в выдаче патента на изобретение, промышленный образец, свидетельства на полезную модель, принятое в результате формальной экспертизы, взимается пошлина в размере 0,5 МРОТ;

на решение об отказе в выдаче патента на изобретение, принятое в результате экспертизы заявки по существу, — в размере 1 МРОТ;

против выдачи патента на изобретение, свидетельства на полезную модель, а также против действия на территории РФ охранного документа СССР на изобретение — в размере 4 МРОТ. Пошлина уплачивается не ранее чем за 3 месяца до подачи возражения. Документ, подтверждающий уплату пошлины, прилагается к возражению;

ж) за восстановление пропущенного заявителем установленного законодательством срока:

представления дополнительных материалов, исправленных или отсутствующих документов по запросу в процессе формальной экспертизы;

ответа на уведомление о нарушении требования единства по заявке;

представления дополнительных материалов по запросу в процессе экспертизы заявки по существу;

подачи в Апелляционную палату возражения на решение об отказе в выдаче патента на изобретение, свидетельства на полезную модель, принятое в результате формальной экспертизы;

подачи в Апелляционную палату возражения на решение об отказе в выдаче патента на изобретение, принятое

в результате экспертизы заявки по существу, взимается пошлина в размере:

0,8 МРОТ, если ходатайство о восстановлении пропущенного срока подано в течение 6 месяцев с даты окончания установленного срока;

3,2 МРОТ, если указанное ходатайство подано по истечении 6 месяцев, но не позднее 12 месяцев с даты окончания установленного срока.

Пошлина уплачивается не ранее чем за 3 месяца до подачи ходатайства о восстановлении пропущенного срока. Документ, подтверждающий уплату пошлины, прилагается к ходатайству;

з) за регистрацию изобретения, полезной модели и выдачу патента на изобретение, свидетельства на полезную модель, в том числе за выдачу патента РФ на изобретение, промышленный образец по ходатайству о прекращении действия на территории РФ авторского свидетельства СССР на изобретение с одновременной выдачей патента РФ на оставшийся срок действия взимается пошлина в размере 4 МРОТ.

Пошлина уплачивается, и документ, подтверждающий уплату пошлины, представляется в уполномоченную организацию в течение 2 месяцев с даты получения заявителем решения о выдаче патента, свидетельства или, соответственно, уплачивается не ранее чем за 3 месяца до подачи указанного ходатайства и прилагается к этому ходатайству;

и) за регистрацию лицензионного договора, относящегося к одному патенту на изобретение, одному свидетельству на полезную модель взимается пошлина в размере 2 МРОТ.

За регистрацию лицензионного договора, относящегося к нескольким патентам, свидетельствам, взимается пошлина в размере 2 МРОТ и дополнительно 1 МРОТ за каждый предусмотренный договором патент, свидетельство свыше одного.

За регистрацию изменений, внесенных в зарегистрированный лицензионный договор, договор об уступке патента, свидетельства, взимается пошлина в размере 0,5 МРОТ.

За подачу заявления о предоставлении любому лицу права на использование объекта промышленной собственности (открытая лицензия) и за публикацию сведений о таком заявлении взимается пошлина в размере 0,5 МРОТ.

Пошлина уплачивается не ранее чем за 3 месяца до подачи заявления о регистрации договора, регистрации



изменений, внесенных в зарегистрированный лицензионный договор или договор об уступке, заявления о предоставлении открытой лицензии. Документ, подтверждающий уплату пошлины, прилагается к соответствующему заявлению;

к) за поддержание в силе патента РФ на изобретение, свидетельства РФ на полезную модель взимаются годовые пошлины в следующих размерах (см. табл. 1):

Т а б л и ц а 1

## Размеры годовой пошлины

Год, считая с даты поступления заявки	Размер годовой пошлины, МРОТ	
	Изобретение	Промышленный образец
третий	1	1
четвертый	1	1
пятый	1,5	1,5
шестой	1,5	1,5
седьмой	2	2
восьмой	2	2
девятый	3	3
десятый	3	3
одиннадцатый	4,5	3
двенадцатый	4,5	3
тринадцатый	6	4
четырнадцатый	6	4
пятнадцатый	7,5	4
шестнадцатый	7,5	—
семнадцатый	7,5	—
восемнадцатый	7,5	—
девятнадцатый	10	—
двадцатый	10	—

Годовые пошлины за поддержание в силе свидетельства на полезную модель взимаются в размерах, показанных в таблице 2.

Пошлина за поддержание в силе патента на изобретение за третий год, считая с даты поступления заявки, уплачивается, и документ, подтверждающий уплату этой пошлины, представляется в уполномоченную организацию в течение последних 2 месяцев второго года, считая с даты поступления заявки.

Таблица 2

Размер годовой пошлины	
Год, считая с даты поступления заявки	Размер годовой пошлины, МРОТ
первый	0,5
второй	0,5
третий	1
четвертый	1,5
пятый	1,5
шестой	2
седьмой	2
восьмой	2

Годовая пошлина за каждый следующий год действия патента на изобретение, свидетельства на полезную модель уплачивается в течение последних 2 месяцев текущего года действия этого патента, свидетельства. Документ, подтверждающий уплату этой пошлины, представляется в уполномоченную организацию. Уплата годовой пошлины за любой год действия патента, свидетельства может быть произведена в течение 6 месяцев со дня истечения установленных сроков. В этом случае размер пошлины увеличивается на 50 процентов.

2. Лицу, имеющему постоянное местожительство в РФ, являющемуся единственным автором изобретения, промышленного образца и испрашивающему патент на свое имя или являющемуся единственным обладателем патента на это изобретение, предоставляются следующие льготы по уплате пошлины, предусмотренные настоящим Положением:

а) ветеран Великой Отечественной войны, ветеран боевых действий на территории других государств освобождается от уплаты пошлин, предусмотренных подпунктами «а»-«г», «е» и «з» пункта 1 настоящего Положения;

б) инвалид, учащийся (воспитанник) государственного, муниципального или иного образовательного учреждения, реализующего образовательную или профессиональную программу обучения, уплачивает пошлины, предусмотренные подпунктами «а»-«г», «е» и «з» пункта 1 настоящего Положения в размере 20 процентов установленного размера каждой пошлины.

Льгота, предусмотренная настоящим подпунктом, предоставляется также коллективу авторов, патентователей,

каждый из которых является ветераном Великой Отечественной войны, ветераном боевых действий на территории других государств или инвалидом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патентный Закон Российской Федерации//Интеллектуальная собственность, 1992, № 1-2.
2. Положение о пошлинах за патентование изобретений, полезных моделей, промышленных образцов...//Постановление Правительства РФ от 12.08.96, № 947.
3. Дикарев В. И. Творческая активность инженеров, ученых и курсантов — важное звено научно-технического прогресса//Новатор, 1992, № 32.
4. Ежов А. П. Заявка на изобретение. — Л., 1986.
5. Никифорова Г. Л., Рачкова В. А. Заявка на изобретение и полезную модель. — СПб., 1994.
6. Кирилкин В. С. Алгоритм поиска аналогов. Методическое пособие по изобретательству. — Л., 1987.
7. Правила составления, подачи и рассмотрения заявки на выдачу патента на изобретение//Интеллектуальная собственность, 1994, № 1-2.
8. Правила составления и подачи заявки на выдачу свидетельства на полезную модель. — М.: НПО «Поиск», 1993.
9. Охрана изобретений и полезных моделей по Патентному Закону Российской Федерации. Под ред. Корчагина А. Д. — С.-Петербург, 1993.
10. Дементьев В. Н. Требования к изобретению//Вопросы изобретательства, 1990, № 8.
11. Земляничин М. А., Фетина В. Н. Условия патентоспособности изобретений в Российской Федерации. — М., 1993.
12. Куракин Б. Е. Курс на ускорение научно-технического прогресса и патентная информация//Вопросы изобретательства, 1986, № 12.
13. Инженеру об изобретении. Под ред. Зенкина Н. М. М., 1976.
14. Сборник методических рекомендаций по вопросам экспертизы изобретений. — М.: ВИНТИ, 1983.

*ЧАСТЬ II*

**НАУЧНЫЕ  
ОСНОВЫ  
ИЗОБРЕТЕНИЙ**

## КАК РОЖДАЮТСЯ ГАЛАКТИКИ

Наука растет из года в год в геометрической прогрессии. Этот рост относится и к числу научных работников, и к количеству публикуемых статей о новых теориях, экспериментах, расчетах, гипотезах. Рост науки, сам по себе непрерывный, привел тем не менее к качественному новому положению именно теперь, в конце XX века. Как никогда раньше, сейчас нужны новые технологии и изобретения, разработанные на базе известных физических эффектов и явлений окружающего мира.

### 1.1. ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ В ПРОБЛЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЛАКТИК

Астрономические наблюдения говорят о существовании более 100 миллионов миллионов ( $100 \cdot 10^6 \cdot 10^6 = 10^{14}$ ) галактик в пределах, доступных современным телескопам.

Поэтому актуальной задачей является увеличение силы телескопов. При увеличении силы телескопов станет возможным наблюдение более далеких галактик, не видимых сегодня. Приведенное выше число увеличивается. Однако увеличение это не будет беспредельным даже в случае беспредельного увеличения силы телескопов и «удаления» в бесконечной Вселенной. Дело в том, что, удаляясь в пространстве, мы одновременно удаляемся во времени. Чем дальше от нас галактика, тем больше времени должен затратить свет на преодоление расстояния, отделяющего ее от нас.

Строение галактики объясняется ее вращением. Представьте себе вращающееся облако газа. Силы тяготения стремятся сжать газ. Сжатию вдоль оси вращения противостоит только давление газа, которое уменьшается по

мере охлаждения. Но приближению газа к оси мешает еще и центробежная сила. Эта сила останавливает сжатие, так что получается диск. Вращение не мешает газу распасться на отдельные звезды, эти звезды в галактике группируются в спиральные полосы. В нашей Галактике звезды по преимуществу расположены внутри относительно тонкой «чечевицы» диаметром до 100000 световых лет ( $10^{23}$  см) и толщиной около 1000 световых лет ( $10^{21}$  см).

## 1.2. СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ МЕГАМИРОМ И МИКРОМИРОМ

Часто сопоставляют микромир (мир атомов, электронов и других элементарных частиц) и макромир — мир привычных нам житейских, обиходных размеров. Но недаром существуют выражения «астрономические размеры», «астрономические затраты» и т. п. Астрономию можно назвать наукой о мегамире, о явлениях, разыгрывающихся в масштабе, гигантски превосходящие обыденные, привычные размеры.

Итак, сравним звезды в космических просторах и атомы газа в сосуде.

В астрономии важнейшую роль играет всемирное тяготение. Взаимное притяжение звезд удерживает их в составе галактик. Атомы газа в обычных условиях между собой почти не взаимодействуют — только отталкиваются друг от друга, как бильярдные шары при столкновениях.

Если водяной пар нагрет до температуры выше кипения, то в ходе расширения произойдет охлаждение пара и часть пара превратится в капли. Как похожа эта картина на образование галактик! Однако есть и существенное отличие: капли воды имеют строго шарообразную форму, с резко очерченной границей. Галактики характеризуются плотностью, постепенно спадающей от центра к периферии, без резкой границы, в большинстве случаев они имеют несферическую форму.

Второе отличие молекулярных сил состоит в том, что притяжение молекул и атомов сменяется отталкиванием на малых расстояниях. Плотность жидкости или твердого тела соответствует как раз такому расстоянию молекул между собой, на котором эти две силы уравновешены.

В случае звезд в галактиках никаких сил отталкивания нет. Притяжение уравновешено кинетической энергией движения звезд или центробежной силой.

### 1.3. ГОРЯЧАЯ РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

Вселенная расширяется. Это краткое выражение означает, что расстояние между любой парой скоплений с течением времени увеличивается. В процентном отношении к расстоянию это увеличение одинаково для любой пары скоплений, более или менее далеких, находящихся в разных участках неба. Непосредственные измерения доказывают это увеличение расстояний от других скоплений до нас, до земного наблюдателя. Скорость удаления равна 50 км/с на расстоянии 3.000.000 световых лет, 100 км/с — на расстоянии 6.000.000 световых лет и т. д. Судят о ней по доплеровскому смещению спектральных линий в красную сторону. Но если скопления удаляются от нас, то среднее расстояние между ними также растет и по тому же закону.

### 1.4. ГРАВИТАЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ

Эту идею высказал еще Ньютон более 300 лет назад. Он отметил, что если на общем фоне однородной плотности где-нибудь есть хотя бы небольшая дополнительная масса, то эта масса будет расти, притягивая к себе остальное вещество.

Итак, малые возмущения плотности растут с течением времени, в ходе расширения. Оказывается, что амплитуда возмущений возрастает пропорционально расстоянию между частицами или, что то же самое, обратно пропорционально температуре.

## ПЫЛЬ И ГАЗ В НАШЕЙ ГАЛАКТИКЕ

В настоящее время хорошо известно, что пространство между звездами не является вакуумом, а содержит значительное количество вещества в форме газа и пыли, различного рода электромагнитных излучений, магнитные поля и т. д.

### 2.1. МЕЖЗВЕЗДНАЯ ПЫЛЬ

Скопления пыли в Галактике, ослабляя свет звезд, хорошо видны на фотографиях Млечного Пути в виде темных пятен, волокон, струй и т. д. Пылевая составляющая межзвездной среды не превышает 1–2% массы вещества, рассеянного между звездами, но ее роль в процессах, происходящих в межзвездном пространстве, велика. В связи с этим можно указать на возможное участие пыли в образовании звезд, а также межзвездных молекул. Следует иметь в виду, что межзвездная пыль является еще и досадной помехой в астрономических исследованиях. Она заметно ослабляет и поляризует излучение звезд и других объектов, т. е. изменяет его количественно и качественно.

### 2.2. ИЗБИРАТЕЛЬНОЕ ОСЛАБЛЕНИЕ СВЕТА

Одним из важнейших свойств межзвездного ослабления излучения звезд является его избирательность, возникшая из-за зависимости ослабления от длины волны (закон межзвездного ослабления излучения). Качественно этот закон был установлен в 1909 году Г. А. Тихоновым. Согласно этому закону ослабление увеличивается с уменьшением длины волны, поэтому далекие звезды кажутся более красными, чем близкие звезды того же спектрального класса.



### 2.3. МЕЖЗВЕЗДНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВЕЗД

Одним из проявлений ослабления излучения в межзвездном пространстве является также поляризация излучения далеких звезд с заметным покраснением. Излучение звезд с заметным покраснением более или менее поляризовано, причем максимальная величина поляризации, возможная при данном ослаблении излучения, пропорциональна этому ослаблению. У звезд, блеск которых не ослаблен из-за межзвездного поглощения, поляризация почти не наблюдается.

Решающая роль в ориентации плоскостей вращения частиц, по-видимому, принадлежит магнитному полю. Наиболее вероятный механизм ориентации, предложенный Л. Девисом и Д. Гринстейном (США), заключается в явлении парамагнитной релаксации.

### 2.4. ПРИРОДА МЕЖЗВЕЗДНЫХ ЧАСТИЦ

Если исходить из распространенности химических элементов в межзвездном пространстве, считая его аналогичной солнечной, — а самые распространенные элементы в Солнечной системе это водород и кислород, — то наиболее вероятна «ледяная» модель межзвездной частицы. Основу межзвездных частиц в этой модели составляют молекулы воды, недавно обнаруженные радиоастрономами в свободном состоянии.

### 2.5. МЕЖЗВЕЗДНЫЙ ГАЗ

В межзвездной среде оказалось большое количество атомов и молекул различных газов. Поражает разнообразие обнаруженных молекул от простейших двухатомных до многоатомных.

В межзвездном газе отношение числа атомов различных химических элементов к числу атомов водорода (так называемая относительная распространенность химических элементов) почти такое же, как и для нормальных звезд (например, Солнца). Но по ряду причин (неполнота наблюдательных данных и др.) получение точных количественных характеристик — это задача будущего.

## 2.6. МЕЖЗВЕЗДНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ «ПОЛОСЫ»

Спектры молекул имеют очень сложную полосато-линейчатую структуру. Впервые следы межзвездной молекулы в спектрах звезд (в видимой области) обнаружил Т. Данхем (США), а П. Свингс (Бельгия) идентифицировал ее с простейшим углеводородом  $\text{CH}$ .

Кроме молекул  $\text{CH}$ , в межзвездной среде по линиям, расположенным в ультрафиолетовой части спектра, были обнаружены еще две молекулы:  $\text{CH}^+$  и  $\text{CN}$ .

В настоящее время в разных странах вводится в строй целый ряд крупных наземных оптических телескопов, создаются мощные радиоинтерферометрические системы, разрабатываются большие внеатмосферные телескопы, которые будут наблюдать с орбит ИСЗ. Несомненно, что одна из ведущих проблем, которая будет решаться с помощью всей этой техники, — это проблема детального изучения межзвездной среды, и в частности газа и пыли.

## **БИОГЕОФИЗИКА И РАДИОЭЛЕКТРОНИКА НА СТРАЖЕ БИОСФЕРЫ**

Понятие «биогеофизика» обозначает область общих задач геофизики и биологии, включая медицину и физиологию.

Биосферу Вернадский рассматривал как сумму всех биологических систем. Согласно этому взгляду, биосфера состоит из слоя живой материи на Земле и вблизи нее. Этот слой образовался в геологические эпохи.

Геофизические факторы окружающей среды, такие как сила тяжести, магнитное поле, излучения электрические, электромагнитные и сейсмические, переменные поля, тепловой поток и т. д. влияют на биологические системы, которые постоянно приспосабливаются к изменяющимся условиям.

### **3.1. ОТКРЫТАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗМА**

Живую субстанцию всегда следует рассматривать как открытую систему, пребывающую в непрерывном подвижном равновесии. К обмену веществ с окружающей средой присоединяется обмен энергией. При этом очень трудно изолировать организм от геофизических воздействий среды.

Поэтому, например, перелет птиц представляется следствием как полученной геофизической информации, так и результатом влияния астрономических и геофизических факторов.

### **3.2. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**

Электромагнитное излучение — один из самых сильных комплексов биологического воздействия. Он охватывает, видимо, ультрафиолетовое и инфракрасное солнечное и космическое излучения.

Действие ультрафиолетовых лучей на кожу человека — следствие сложных химических реакций. Они в большой степени задерживаются находящимся в атмосфере слоем озона. Если бы этого не было, столь интенсивное коротковолновое излучение погубило бы все живое.

Мы видим, что эволюция жизни на Земле зависела и от особенностей электромагнитного излучения.

### **3.3. ГЕОФИЗИКА И БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ**

Исследование так называемых биологических ритмов началось с установления такого факта, что в обмене веществ (например, в функциях печени и желчного пузыря) преобладающую роль играет 24-часовой ритм. Явление это носит название внутренних, или биологических, часов; связано оно, конечно, с вращением Земли. Нарушение 24-часового ритма воздушным путешествием в направлении с востока на запад или наоборот доставляет человеку много неприятностей, меняя функциональное состояние организма.

Ритмика — основное свойство живой материи, жизненных процессов. Она свойственна растениям и животным, одноклеточным и многоклеточным. Все живое унаследовало в процессе эволюции периодическую активность под влиянием периодичности изменений геофизических параметров окружающей среды.

24-часовой период, вызванный вращением Земли, — основной, но не единственный биологически важный период. Спектр частот ритмов охватывает по крайней мере 10 порядков. Среди них имеются частоты в различных диапазонах, которые соответствуют известным геофизическим ритмам (годовая ритмичность Земли, лунная периодичность, периодичность приливов и отливов и т. д.). Углубленная трактовка биологических данных, полученных на сегодняшний день, — дело будущего.

### **3.4. ПРЕДПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Ввиду быстрорастущего влияния цивилизации на окружающую среду нашей планеты, биофизика становится перспективно важным направлением исследований. При этом на переднем плане оказывается изучение

физических и химических нарушений атмосферы и гидросферы.

Физические факторы окружающей среды приобретают в глазах исследователей возрастающее значение для сохранения здоровья человека.

В настоящее время предполагают, что слабое УФ-излучение клетки передается как биологическая информация соседним клеткам, если излучающая клетка повреждена, например, в результате химически вредных воздействий, действия вируса или высоких доз облучения. С помощью особого кода передается информация о виде дефекта.

### **3.5. СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

Биосфера едина, поэтому существует большой риск перерастания региональных экологических проблем и кризисов в глобальные. Совершенно очевидно, что вопросы глобальной экологии решить без космических средств невозможно, глобальная экология — это самая приоритетная проблема, ведь проблема жизни на Земле касается каждого человека.

Создание глобальной космической системы экологического контроля — это проблема всего мирового сообщества и ее решение потребует определенных политических, научно-технических и экологических усилий в рамках ООН.

Для глобального контроля экологического состояния планеты предложено оригинальное техническое решение.

Патент РФ № 2.027.195, G 01 S 5/12. Спутниковая система для определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию (Система КОСПАС-САРСАТ). Данная система является совместимой международной системой поиска и спасения, разработанной и в настоящее время управляемой организациями Австралии, Канады, Франции, США, России и Японии. Она уверенно продемонстрировала возможности применения низкоорбитальных спутников, запущенных на околополярные орбиты, для глобального обнаружения и определения местоположения радиобуев. Однако потенциальные возможности системы КОСПАС-САРСАТ используются не в полной мере. Изобретение предлагает ее использовать и для определения вида и географических координат радиодатчиков природопользования, стихийного и экологического бедствий, а также для пеленгации радиодатчиков угнанных

транспортных средств и специальных грузов, перемещающихся из одного населенного пункта в другой.

Являясь грозными стихийными бедствиями, наводнения и сели наносят серьезный ущерб населению и народному хозяйству: вызывают человеческие жертвы, гибель животных, разрушают промышленные объекты, жилые дома, дороги и т. д. Поэтому борьба с наводнениями и селями давно привлекает внимание человека.

Патент РФ № 2.039.066, G 01 R 23/00. Устройство для оповещения о паводке или селе. Данное устройство обеспечивает передачу и воспроизведение на пункте оповещения данных об уровне паводка или селя и его географических координатах. Это достигается использованием сложного ФМн-сигнала, приемника и радиопередатчиков. При этом радиодатчики устанавливаются в паводкоопасных и селеопасных районах, а приемник размещается на пункте оповещения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дикарев В. И., Денисов Г. А., Койнаш Б. В., Рогалев В. А., Сенокосов Е. С. Методы и средства экологического контроля. — СПб., 1999.
2. Дикарев В. И., Денисов Г. А., Доронин А. П., Рогалев В. А. Методы и средства защиты человека и окружающей среды. — СПб., 1999.

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОГОДЫ**

Прогнозирование погоды — одна из старейших проблем науки, искусственное преобразование погоды — столь же старая мечта человека, которая лишь в последнее время стала научной проблемой.

Погода представляет собой одно из тех явлений и свойств окружающей человека природной среды, которые издавна оказывали большое влияние на всю жизнь человека и в существенной мере ограничивали рамки его деятельности.

### **4.1. ПРОГНОЗ ПОГОДЫ**

Методы прогнозирования опираются на представление о закономерном характере развития атмосферных процессов.

Атмосфера непрерывно движется и меняет свое состояние, получая основную, необходимую для этого энергию от поверхности моря или суши, нагреваемой солнечным излучением. Неодинаковость нагрева поверхности Земли на различных широтах — основная причина общей, генеральной циркуляции атмосферы на нашей планете.

В настоящее время разработка методов долгосрочных прогнозов идет по трем основным направлениям: синоптические методы, физико-статистические методы и численные прогнозы.

Наряду с явлениями, развивающимися на нашей планете под влиянием солнечного тепла, на атмосферу оказывают воздействия и космические факторы — приливные силы и явления на Солнце.

Авт. свид. № 1.753.436, G 01 W 1/06. Способ определения среднесуточной температуры воздуха, включающий измерение температуры, отличающийся тем, что, с целью упрощения и снижения трудоемкости, измеряют температуру грунтовых вод или вмещающих их пород на глубине и принимают ее за искомую.

## 4.2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОГОДЫ

Основное препятствие для преобразования погоды — огромная энергия метеорологических процессов.

Первым явлением, ведущим к образованию облака, является охлаждение некоторого объема воздуха, содержащего в себе водяной пар. Чаще всего охлаждение наступает в результате поднятия воздуха в более холодные слои атмосферы.

Некоторые исследователи разрабатывают методы стимулирования восходящих потоков для того, чтобы возбудить конвекцию или способствовать разрушению инверсных слоев, препятствующих ее развитию. Ими были разработаны различного типа нагреватели — так называемые «метеотроны» — мощные горелки, вызывающие восходящий поток воздуха. Другие пытались стимулировать восходящие потоки изменением альбедо — отражающей способности земной поверхности, например, зачернением грунта.

Следующий раздел исследования касается элементарных физико-химических процессов, обеспечивающих развитие облака: конденсации, коагуляции (слияния) и кристаллизации частиц; цель этих исследований — выяснить механизм естественного действия названных процессов и изыскать возможные пути их стимулирования или подавления.

## 4.3. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КЛИМАТА

Климат является результатом своеобразного подвижного равновесия весьма сложной совокупности гидрометеорологических процессов, разыгрывающихся на всем пространстве земного шара. Мы представляем себе в общей качественной форме взаимодействие этих процессов. Однако пока еще нет возможности рассчитать количественные связи между ними.

Одним из путей воздействия на климат может быть изменение характера подстилающей поверхности на достаточно больших пространствах.

Существенное воздействие на климатообразующие процессы оказывает вмешательство в процессы, развертывающиеся в стратосфере.

Нетрудно понять, что проблема планетарного или регионального преобразования климата является по существу международной и требует единства усилий и согласования действий всех стран.



## ГЛОБАЛЬНАЯ ТЕКТОНИКА

Тектоника занимается изучением движений структуры и развития Земли и особенно ее верхних твердых оболочек — коры и верхней мантии.

Сдвиги — трансформные разломы образуют столь характерную для земной коры разломную сетку, подобие которой начинают обнаруживать на Марсе и Луне.

Еще одна особенность структуры литосферы, заслуживающая быть отмеченной, — приуроченность наиболее крупных широтных сдвигов к экваториальной зоне. Создается впечатление, что вдоль этой зоны структурные элементы Северного полушария сдвинуты в целом к западу относительно аналогичных элементов Южного полушария.

Определенный сдвиг зафиксирован открытием № 63 (Н. И. Коровяков, А. Н. Никитин). Сущность открытия состоит в теоретическом и экспериментальном подтверждении на примере разработанной модели возможности эксцентрического расположения ядра планеты Земли относительно ее оболочки за период суточного вращения и перемещение этого ядра относительно оболочки два раза в году к Северному и Южному полюсу, соответственно сезонам года.

Совокупность наблюдаемых явлений на планете Земля в сочетании с показаниями прибора (авт. свид. № 1.327.148. Прибор для демонстрации гидродинамических явлений) позволили построить суточный механизм взаимодействия элементов планеты Земля в поле действия гравитационных сил Солнца.

### 5.1. ЯВЛЕНИЯ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ

Землетрясения наносят огромный ущерб народному хозяйству, приводят к гибели людей и животных. Поэтому разработка методов и средств поиска и обнаружения

предвестников землетрясения является весьма актуальной, а проблема прогноза землетрясений является не только чисто научной задачей.

### 5.1.1. Световые и шумовые явления

К наиболее многочисленным наблюдениям следует отнести световые явления в атмосфере перед землетрясением. Отмечалось «особое» свечение атмосферы в виде широких полос, сравниваемое с полярным сиянием. Свечение представляется «огненным» туманом, разгорающимся и гаснущим с периодом в десятки секунд.

В конце XIX века писали о шумах в микрофонах и телеграфных аппаратах, подобно тому, что слышали во время атмосферных гроз. В этот же период отмечены возмущения геомагнитного поля перед и во время сейсмических событий.

### 5.1.2. Электромагнитные явления

Возмущения импульсного электромагнитного поля в сейсмоактивных районах являются информативным признаком готовящегося землетрясения. Исследование характеристик импульсного электромагнитного излучения происходит в условиях естественных и искусственных помех. К естественным помехам относятся грозовая деятельность, метеорологические и магнитоионосферные процессы, связанные с атмосферой и геофизической обстановкой. Искусственные помехи обусловлены работой промышленных установок и радиотехнических средств коммуникаций.

Для повышения надежности прогноза путем исключения вариаций электромагнитного поля, не связанных с сейсмической активностью, и определения эпицентра землетрясения используется следующее изобретение.

Авт. свид. № 1.193.620, G 01 V 3/12. Способ прогноза землетрясений, основанный на измерении напряженности электромагнитного поля Земли в сейсмоактивном районе, отличающийся тем, что в точке наблюдения периодически производят не менее двух последовательных измерений напряженности электромагнитного поля, определяют разностный сигнал двух последовательных измерений, интегрируют разностный сигнал, делают

разностный сигнал и сравнивают полученное значение с заданным пороговым значением.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что напряженность электромагнитного поля измеряют путем сканирования сейсмоактивного района приемным устройством, размещенным над поверхностью Земли.

Для прогноза землетрясений могут быть использованы аномальные вариации эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) массива пород в сейсмоопасной зоне земной коры как оперативные электромагнитные предвестники.

Патент РФ № 1.806.394, G 01 V 3/12. Способ радиолокационного обнаружения предвестников тектоактивности и устройство для его осуществления. В массиве пород земной коры возбуждают на заданной глубине зондирования электромагнитное поле с помощью размещенной на поверхности антенны возбуждения опорной последовательностью биполярных прямоугольных токовых импульсов. Осуществляют прием вторичного электромагнитного поля с помощью приемной антенны, размещенной на заданном расстоянии от антенны возбуждения, соизмеримом с глубиной зондирования.

Для краткосрочного прогноза места и времени землетрясений разработано следующее изобретение.

Патент РФ № 2.037.162, G 01 V 3/12. Способ радиоволнового прогноза землетрясений и устройство для его осуществления. Сущность изобретения: в сейсмоопасном районе создают пересекающиеся трассы передатчик-приемник, одновременно передают и принимают не менее трех разночастотных сигналов в диапазоне 3–30 КГц, содержащих целое число фазовых циклов и синхронизованных по фазе и времени.

### 5.1.3. Атмосферный электрический потенциал

На определенном расстоянии от предполагаемого эпицентра за несколько часов перед землетрясением изменяется атмосферный электрический потенциал. Для фиксации этого явления используются электрофиксаторы Эльстера и Гейтеля.

### 5.1.4. Биологические явления

Уже в начале 30-х годов японские ученые, исследовав поведение зубаток, особенно чувствительных к электрическим токам, обнаружили явную корреляцию между ак-

тивностью зубаток и землетрясениями. Примечательно, что активность зубаток оказалась пропорциональной расстояниям между станциями наблюдения и эпицентром землетрясения.

У домашних животных отмечалось бегство из помещений, собаки жалобно лаяли, петухи начинали усиленно петать, дикие животные покидали норы и мигрировали из района будущего землетрясения, птицы взлетали в воздух перед толчком, муравьи, захватив куколок, уходили из муравьиных куч, змеи перемещались в сторону реки, рыбы ложились на дно.

## **5.2. ЯВЛЕНИЯ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ИЗВЕРЖЕНИЮ ВУЛКАНОВ**

Вулканы — это геологические образования, возникающие в земной коре над каналами или трещинами, по которым из недр земли извергаются огненножидкие лавы, обломки раскаленных горных пород, тел, горячие газы и пары. В общем виде под вулканом принято понимать конусовидную гору с несколько усеченной вершиной. На вершине такой горы находится чашеобразное углубление — кратер. Последний соединяется с подводящим каналом — жерлом, по которому на поверхность земли поступают вулканические продукты.

### **5.2.1. Изменение наклона земной поверхности у подножия вулкана**

Земная кора и верхняя мантия находятся в твердом состоянии, хотя на большой глубине температура их чрезвычайно высока. Но так как породы на значительных глубинах находятся под большим давлением, они не плавятся. В результате тектонических разломов, трещин, это равновесие может быть нарушено, и тогда твердое вещество превращается в расплав. При переходе вещества из твердого состояния в жидкое оно увеличивается в объеме, а значит, и давление будет иным, значительно большим, чем при равновесном состоянии.

По мере притока тепла давление в магматическом очаге все в большей степени увеличивается, расплав устремляется в выводной канал вулкана. Но канал пока прочно закупорен, поэтому расплав сразу прорваться к поверхности не может. По этой причине вулкан вспучивается, приподнимается иногда на десятки, а порой и сотни

метров. Это ведет к тому, что изменяются наклоны земной поверхности у подножья вулкана. Они регистрируются специальными приборами — наклономерами. Эти приборы высокочувствительны и могут улавливать незначительные изменения наклонов земной поверхности.

#### **5.2.2. Газы и пары — наиболее долго живущие вулканические явления**

Когда активная деятельность вулкана минует, газы и пары еще очень долго парят из трещин на склонах вулканов, потоков лав либо кратеров. Оказывается, газовый состав фумарол чувствительно реагирует на поведение вулкана: при усилении или ослаблении извержения он изменяется, что также может служить одним из предвестников вулканических извержений.

#### **5.2.3. Изменение магнитного поля земли**

Изменение магнитного поля Земли — еще один предвестник извержения вулканов. Суть его заключается в том, что если вблизи вулкана магнитное поле изменяется, это является сигналом подготовки вулкана к извержению.

#### **5.2.4. Вулканические извержения**

Наиболее универсальным предвестником вулканического извержения являются вулканические землетрясения. В большей или меньшей степени, но они предшествуют каждому вулканическому извержению. Причины их — те же нарушения в виде разломов, трещин, сдвигов. От них возникают толчки, а затем в горных породах образуются упругие волны — продольные и поперечные, которые распространяются во всех направлениях. Эти волны и вызывают землетрясения, которые улавливаются и записываются специальными приборами — сейсмографами.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гохберг М. Б., Гуфельд И. Л., Добровольский И. П. Об источниках электромагнитных предвестников землетрясений. — М., 1980.
2. Электромагнитные предвестники землетрясений. Под ред. М. А. Садовского. — М., 1982.
3. Липеровский В. А. и др. Ионосферные предвестники землетрясений. — М., 1992.

## МЕХАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

### 6.1. СИЛЫ ИНЕРЦИИ

Силы инерции возникают при движении тел с ускорением, то есть в случаях, когда они изменяют свое количество движения.

#### 6.1.1. Инерциальные напряжения

Если на тело действует сила, приложенная к его поверхности, возникающая при этом сила инерции складывается из сил инерции его элементарных частиц как бы последовательно, более удаленные от места приложения действующей на тело силы частицы «дают» на более близкие. Во всем объеме тела возникают напряжения, приводящие к смещениям частиц тела. Этот эффект используется в различных инерционных выключателях, переключателях и акселерометрах.

Авт. свид. № 483.120, А 63 Н 30/02. Переключатель для электрической игрушки, содержащий корпус с контактами и установленный в нем с возможностью ограниченного поворота диск с токосъемниками и прикрепленным к нему одним концом поводком, отличающийся тем, что, с целью реверсирования электродвигателя при столкновении игрушки с препятствием, на свободном конце поводка укреплен груз.

Силу инерции можно также использовать для создания дополнительного давления в различных технологических процессах.

Авт. свид. № 509.539, С 01 G 1/04. Способ получения карбонила вольфрама путем обработки порошкового вольфрама и вывода конечного продукта из зоны реакции с последующей его конденсацией, отличающийся тем, что, с целью упрощения процесса и обеспечения его непрерывности,

процесс ведут в измерительном аппарате с инерционной нагрузкой 15–40 при давлении окиси углерода 0,9–10 атм и температуре 20–30 °C.

### 6.1.2. Центробежные силы

Центробежная сила инерции возникает, когда тело под действием центростремительной силы — причины изменяет направление своего движения, при этом сохраняется энергия тела. Эта сила действует всегда только в одном направлении — от центра вращения.

Авт. свид. № 518.322, В 24 В 21/16. Способ шлифования криволинейных поверхностей движущейся абразивной лентой, при котором ленту поджимают к обрабатываемой детали контактным каприром, эквидистантным на толщину ленты обрабатываемой поверхности, отличающийся тем, что, с целью обеспечения возможности обработки выпуклых поверхностей, ленту прижимают к рабочей поверхности контактного каприра центробежными силами.

Фактически это есть сила взаимодействия между телами — вращающимся и удерживающим его на окружности. В свою очередь, вращающееся тело также воздействует на удерживающее. По третьему закону Ньютона эти силы равны по величине и противоположны по направлению в каждый момент времени. Взаимодействие двух тел осуществляется через какие-либо связи — нитку, стержень, электрические и гравитационные поля и т. д. В случае разрыва связей, соединяющих взаимодействующие тела, оторвавшееся двигаться будет прямолинейно (по инерции).

Патент ФРГ № 1.229.253, В 24 В 21/16. Способ изготовления листочков или чешуек из стекла, отличающийся тем, что стекло, размягченное при нагревании, наносят на стенку в форме круга, имеющего по окружности закраину. Стенд для образования пленки из стекла приводят во вращение. Пленка размягченного стекла выбрасывается через закраину под давлением центробежных сил. Затем пленка затвердевает на некотором расстоянии от вращающейся стенки и разбивается на листочки.

### 6.1.3. Момент инерции

Чем больше масса вращающегося тела и чем дальше она отнесена от центра вращения, тем большим моментом инерции обладает тело.

**Авт. свид. № 538.800, В 21 J 7/24.** Способ регулирования энергии ударов в кузнечно-прессовых машинах ударного действия, заключающийся в изменении момента инерции маховых масс, отличающийся тем, что, с целью повышения качества обрабатываемых деталей и долговечности машин, момент инерции изменяют путем подачи или отвода жидкости во внутренние полости маховых масс.

**Авт. свид. № 523.213, С 16 F 15/22.** Способ уравнивания сил инерции подвижных элементов машин, заключающийся в том, что уравнишиваемый элемент машин соединяют с аккумулярующим телом и приводят их во вращение, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности уравнивания, в качестве аккумуляющего тела используют маховик с изменяемым радиусом центра масс, например, центробежный регулятор.

Силы, возникающие в процессе вращательного движения, можно использовать для ускорения некоторых технологических процессов.

**Авт. свид. № 283.885, В 01 D 46/60.** Способ деаэрации порошкообразных веществ путем уплотнения, отличающийся тем, что, с целью интенсификации, деаэрацию производят под действием центробежных сил.

**Авт. свид. № 415.036, В 01 J 1/22.** Способ приготовления сорбента для экстракционной хроматографии путем смещения жидкой фазы и твердого носителя, отличающийся тем, что, с целью повышения равномерности распределения жидкой фазы на твердом носителе и интенсификации процесса удаления жидкой фазы, смещение производят в центробежном поле.

Силы, возникающие в процессе вращательного движения, можно использовать для деформации.

**Авт. свид. № 517.501, В 29 С 17/02.** Способ отбортовки труб из термопластичного материала, включающий операцию нагревания ее конца до размягчения и последующей его деформации, отличающийся тем, что, с целью упрощения изготовления изделия и повышения его качества, деформацию размягченного конца трубы осуществляют ее вращением.

Подвергая нагретую жидкость действию центробежного поля можно значительно увеличить производительность парогенераторов, так как если нагретую жидкость под давлением подать по касательной к вращающемуся цилиндру, то жидкость закрутится. При этом жидкость будет закручиваться с большего на меньший радиус, а



это, в силу закона сохранения момента количества движения, вызывает рост линейной скорости.

Согласно закону Бернулли увеличение скорости приводит к падению давления в движущейся жидкости. Поэтому жидкость, нагретая до кипения, попав в зону пониженного давления, закипит и сухой пар будет скапливаться в центре цилиндра.

На каждый элемент объема вращающейся вязкой жидкости действуют две силы: центробежная и сила тяжести. Поэтому на форму параболического мениска плотность не влияет, т. е. любые жидкости будут иметь одинаковые формы поверхности.

Авт. свид. № 232.450, А 61 С 13/02. Способ изготовления изделий с параболической поверхностью, основанный на использовании вращения резервуара с жидкостью, отличающийся тем, что, с целью снижения стоимости и повышения точности параболической поверхности, в качестве формовочного элемента используют жидкость с большим удельным весом, на которую наносят жидкость с большим удельным весом, затвердевающую при вращении резервуара.

#### 6.1.4. Гироскопический эффект

Вращающееся тело обладает гироскопическим эффектом — способностью сохранять в пространстве неизменное направление оси вращения. При силовом воздействии с целью изменить направление оси вращения возникает прецессия гироскопических систем. Гироскопы широко применяются в технике, они являются одним из основных элементов современных систем управления судами, самолетами, планетоходами, космическими кораблями.

Авт. свид. № 474.444, В 60 L 11/16. Локомотив с электропередачей, содержащий аккумулятор энергии в виде вращающегося маховика, связанный с преобразователем энергии, представляющим собой обратимую электрическую машину, отличающийся тем, что, с целью устранения сил гироскопического эффекта маховика на устойчивость локомотива, маховик с преобразователем энергии смонтированы в оболочке и помещены в гироскопический механизм с двумя степенями свободы.

Измеряя прецессию гироскопа, можно определить величину внешних сил, воздействующих на гироскоп.

Авт. свид. № 487.336, G 01 N 19/02. Устройство для определения силы трения, содержащее корпус, карданный подвес, ротор с приводом, установленные в кардан-

ном подвесе, держатели образца и контробразца, нагружающий механизм, взаимодействующий с держателем контробразца, датчик угловой скорости прецессии, связанный с рамкой карданного подвеса, отличающийся тем, что, с целью определения силы трения при высоких, порядка сотен м/с скоростях вращения, держатель образца установлен на роторе, нагружающий механизм с держателем контробразца установлены на внутренней рамке карданного подвеса, а датчик угловой скорости прецессии связан с внешней рамкой подвеса.

Поскольку при вращательном движении само тело остается на одном месте, а только участки тела совершают круговые движения, то во вращающемся теле можно аккумулировать кинетическую энергию поступательного движения. На этом принципе работают инерциальные аккумуляторы, использующиеся, например, в гиробусах.

Авт. свид. № 518.302, В 23 К 19/02. Машина для инерционной сварки трением, содержащая привод вращения и шпиндель с массой для накопления энергии, отличающаяся тем, что, с целью уменьшения энергоемкости процесса, масса для накопления энергии выполнена в виде инерционного пульсатора.

Силы инерции проявляются при изменении скорости движущегося тела или при появлении центробежной силы; в этих случаях всегда проявляется реальная сила, которую можно использовать в различных процессах, и при том совершенно бесплатно.

## 6.2. ГРАВИТАЦИЯ

Кроме того, что масса является мерой инертности тела, любая масса является источником гравитационного поля. Через гравитационное поле осуществляется взаимодействие масс. Гравитационные силы самые слабые из всех известных науке. Тем не менее, при наличии больших масс (например, Земля) эти силы во многом определяют поведение физических систем. Количественные гравитационные взаимодействия описываются законом всемирного тяготения. Сила тяготения пропорциональна массе. Такая пропорциональность приводит к тому, что ускорение, приобретаемое в данной точке гравитационного поля различными телами, для всех тел одинаково. Если рассматривать движение тел под действием силы тяжести Земли, то это движение будет равноускоренным — ускорение будет постоянно по величине и по направлению;

все отклонения от постоянства ускорения имеют те или иные конкретные причины — вращение Земли, ее несферичность, несимметричное распределение масс внутри Земли, сопротивление воздуха или иной среды, наличие электрических или магнитных полей и т. д. Постоянство ускорения — это возможность измерять массы посредством измерения веса — это часы, датчики времени, это бесплатные силы гравитации, точно калиброванные.

Авт. свид. № 189.597, G 01 C 10/02. Устройство для установления заданных промежутков времени, отличающееся тем, что, с целью повышения точности измерения при записи сейсмограмм, оно выполнено в виде стержня с расположенным на нем грузом, замыкающим во время свободного падения контакты, соединенные с электротонаторами.

### 6.3. ТРЕНИЕ

Трение представляет собой силу, возникающую при относительном перемещении двух соприкасающихся тел в плоскости их касания. Ввиду зависимости сил трения от многих, порой очень трудно учитываемых, факторов, предпочитают пользоваться феноменологической теорией трения, описывающей в основном факты, а не их объяснения.

Различают трение качения и трение скольжения. Феноменологическая теория базируется, в основном, на представлении о том, что касание твердых тел имеет место лишь в отдельных пятнах, на которых действуют силы диффузии, химической связи, адгезии и т. п.; при скольжении каждое пятно касания (так называемая фрикционная связь) существует ограниченное время. Сумма всех сил, действующих на пятна касания, усредненная по времени и по поверхности, носит название силы трения. Продолжительность существования фрикционной связи определяет такие важные величины, как износостойкость, температуру пограничного слоя, работу по преодолению силы трения. Характерно, что при трении наблюдаются значительные деформации пограничного слоя, сопровождающиеся структурными превращениями, избирательной диффузией (учет всех этих процессов затруднен из-за их сильной зависимости от температуры). Температура на пятнах касания возрастает очень быстро и может достигать нескольких сот градусов.

Трение покоя больше трения движения, и этот факт снижает чувствительность точных приборов. Заменить трение

покоя трением движения — это значит уменьшить силу трения и как-то стабилизировать ее. Задачу можно решить, заставив трущиеся элементы совершать колебания.

В патенте США № 3.239.283 задача решается выполнением втулки подшипника из пьезоэлектрического материала и покрытием ее электропроводящей фольгой. Пропуская переменный ток, под действием которого пьезоэлектрик вибрирует, они ликвидируют трение покоя.

### 6.3.1. Явление аномального низкого трения

Установлено, что при достаточно сильном облучении одной из трущихся поверхностей ускоренными частицами (например, атомами гелия) коэффициент трения падает в десятки и даже сотни раз, достигая сотых и тысячных долей единицы (открытие № 121). Для возникновения эффекта сверхнизкого трения необходимо, чтобы процесс трения осуществлялся в вакууме. Переход в состояние сверхнизкого трения может осуществляться далеко не всеми телами. Этой способностью обладают вещества со слоистой кристаллической структурой. Исследования показали, что очень тонкий поверхностный слой вещества при совместном действии трения и облучения испытывает сильную ориентацию, благодаря чему его структурные элементы располагаются параллельно плоскости контакта, за счет чего сильно уменьшается способность вещества образовывать сильные адгезионные связи. Роль облучения сводится к очень интенсивной очистке поверхности контакта от примесей и от молекул воды, препятствующих ориентации. К тому же водная пленка сама является источником довольно сильных адгезионных связей. Явление аномально низкого трения можно использовать, к примеру, в подшипниках.

Авт. свид. № 290.131, F 16 C 21/00. Подшипник скольжения, содержащий корпус, в котором смонтирован вал посредством сегментов с металлической рабочей поверхностью, расположенных равномерно по окружности, отличающийся тем, что, с целью уменьшения коэффициента трения при работе в вакууме, он снабжен источником быстрых нейтральных молекул газа, например, инертного, встроенного в корпус между сегментами, и направляющим потоком молекул на рабочую поверхность вала, покрытую полимером, например, полиэтиленом.

### 6.3.2. Эффект безызносности

Всегда и везде ранее принималось, что трение и износ — два неразрывно связанных явления. Однако в результате открытия И. В. Крагельского и Д. Н. Гаркунова (№ 41) удалось разъединить это, хотя и традиционное, но невыгодное содружество. В их подшипнике трение осталось, износ исчез: за это исчезновение ответственен процесс атомарного переноса. Самый опасный вид износа — схватывание. В соответствии с принципом «обратить вред в пользу», схватывание входит как составная часть в атомарный перенос; далее оно компенсируется противоположным процессом. Рассмотрим пару сталь-бронза с глицериновой смазкой. Глицерин, протравливая поверхность бронзы, способствует покрытию ее рыхлым слоем чистой меди, атомы которой легко переносятся на стальную поверхность. Далее устанавливается динамическое равновесие — атомы меди летают туда и обратно, и износа практически нет, ибо медный порошок прочно удерживает глицерин, который, в свою очередь, защищает медь от кислорода. В авиации уже испытаны бронзовые амортизационные буксы в стальной стойке шасси самолета.

### 6.3.3. Эффект Джонсона-Рабека

Если нагревать пару соприкасающихся трущихся поверхностей — полупроводник и металл, то силы трения между этими поверхностями будут увеличиваться. Этот эффект используется в тормозах и муфтах крутящего момента.

**Патент США № 3.343.635.** Тормоз, представляющий собой вал, покрытый полупроводниковым материалом, охваченный металлической лентой. Тормозной момент зависит от температуры полупроводникового слоя и регулируется путем пропускания электрического тока через вал и схватывающую его ленту.

Интересное использование трения.

**Авт. свид. № 350.577, В 22 D 11/04.** Способ получения отливок, заключающийся в пропускании расплавленного металла через каналы, выполненные в теле оправки, отличающийся тем, что, с целью совмещения процессов плавки и заливки металла, оправку поднимают к металлической заготовке и вращают, расплавляя заготовку теплом, выделяющимся в процессе трения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ройтенберг Я. Н. Гироскопы. — М.: Наука, 1975.
2. Павлов В. А. Гироскопический эффект, его проявление и использование. — Л.: Судостроение, 1972.
3. Гулия Н. В. Возрождение энергии//Наука и жизнь, 1975, № 7.
4. Силин А. А. Трение и его роль в развитии техники. — М.: Наука, 1976.
5. Крагельский И. В. Трение и износ. — М.: 1968.
6. Гаркунов Д. Н. и др. Избирательный перенос в узлах трения. — М., Транспорт, 1969.

## ДЕФОРМАЦИЯ

### 7.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В самом общем случае под деформацией понимается такое изменение положения точек тела, при котором меняются взаимные расстояния между ними. Причинами деформаций, сопровождающихся изменением формы и размеров сплошного тела, могут служить механические силы, электрические, магнитные, гравитационные поля, изменение температуры, фазовые переходы и т. д.

В теории деформаций твердых тел рассматриваются многие типы деформаций — сдвиг, кручение и т. д. Формальное описание их можно отыскать в любом курсе сопромата.

Если деформация исчезает после снятия нагрузки, то она называется упругой, в противном случае имеет место пластическая деформация. Для упругих деформаций справедлив закон Гука, согласно которому деформация пропорциональна механическому напряжению. Если рассматривать деформацию на атомарном уровне, то упругая деформация характеризуется, прежде всего, практически одинаковым изменением расстояния между всеми атомами кристалла; при пластических деформациях возникают дислокации — линейные дефекты кристаллической решетки.

Величина деформации любого вида определяется свойствами деформируемого тела и величиной внешнего воздействия; следовательно, имея данные о деформации, можно судить либо о свойствах тела, либо о воздействиях; в некоторых случаях — и о том, и о другом, а в некоторых — о степени изменения свойств деформируемого тела при том или ином внешнем воздействии.

Авт. свид. № 232.571, G 01 M 5/00. Способ измерения опорных реакций машин и станков в эксплуатационных условиях, отличающийся тем, что, с целью определения

реакций в опорах с резиновым упругим элементом, изменяют величину деформаций свободной поверхности резинового упругого элемента, по которой судят о величине опорной реакции.

### 7.1.1. Связь электропроводности с деформацией

В 1975 году зарегистрировано открытие: обнаружена зависимость пластической деформации металла от его проводимости. При переходе в сверхпроводящее состояние повышается пластичность металла. Обратный переход понижает пластичность.

Эффект наблюдается на многих сверхпроводниках при различных способах механических испытаний. При этом была обнаружена прямая связь механической характеристики металла — его пластичности с чисто электронной характеристикой — проводимостью.

Главный вывод — электроны металлов тормозят дислокации всегда. Сверхпроводящий переход помог выявить роль электронов и позволил оценить электронную силу торможения. Но переход в сверхпроводящее состояние — не единственная возможность влиять на электроны. Этому служит магнитное поле, давление и т. д. Ясно, что такие воздействия должны изменять и пластичность металла, особенно когда электроны — главная причина торможения дислокаций.

Магнитное поле в сочетании с низкой температурой способны изменять буквально все свойства вещества: теплоемкость, теплопроводность, упругость, прочность и даже цвет. Появляются новые электрические свойства. Превращения происходят практически мгновенно — за  $10^{-11}$ – $10^{-12}$  с. Исходя из экспериментов ожидают использования новых эффектов в обычных условиях.

### 7.1.2. Электропластический эффект в металлах

Открытие этого эффекта привело к более глубокому пониманию механизма пластической деформации, расширило представление о взаимодействии свободных электронов в металле с носителями пластической деформации — дислокациями.

Появилась возможность управлять механическими свойствами металлов, в частности, процессом обработки



металлов давлением. Например, деформировать вольфрам при температурах, не превышающих 200°C, и получить из него прокат с высоким качеством поверхности.

В экспериментах с импульсным током было найдено, что электрический ток увеличивает пластичность и уменьшает хрупкость металла. Электрический ток вызывает также увеличение скорости релаксации напряжений в металле и оказывается удобным технологическим фактором для снятия внутренних напряжений в металле. При переменном токе данный эффект не наблюдается.

Видна связь явления разупрочения металла при сверхпроводящем переходе с электропластическим эффектом. В том и другом случае в основе явления лежит уменьшение сопротивления движению и воздействию дислокаций при устранении из металла газа свободных электронов, во втором случае причиной облегчения деформации является участие самого электронного газа в пластической деформации металла. Электронный газ из пассивной и тормозящей среды превращается в среду, имеющую направленный дрейф и поэтому ускоряющую движение и взаимодействие дислокаций.

### 7.1.3. Фотопластический эффект

Естественно ожидать изменение пластических свойств и при других воздействиях на электронную структуру образца. Например, воздействие светового излучения на кристаллы полупроводника вызывает в них перераспределение электрических зарядов. В опытах Осипяна и Савченко (открытие № 93) образцы полупроводников сжимались и растягивались до наступления пластической деформации. Затем образцы освещались светом. Вызванное им перераспределение носителей заряда оказывало тормозящее действие на дислокации носителей пластической деформации, и тотчас прочность образца увеличивалась почти вдвое. Стоило выключить свет, как прочность уменьшалась и вскоре достигала своего первоначального значения.

Дальнейшие исследования привели к наблюдению еще одного интересного явления — инфракрасного гашения фотопластического эффекта. Эффект фотопластичности предполагается использовать для разработки нового типа элементов автоматики, новой технологии полупроводников, для создания качественно новых приемников видимого, светового и инфракрасного излучения.

#### 7.1.4. Эффект Баушингера

При упругих деформациях перемена знака внешнего усилия вызывает только изменение знака деформации без изменения ее абсолютной величины. Если же под влиянием внешних усилий в металле возникают дислокации, т. е. наступает режим пластической деформации, то упругие свойства металла изменяются и начинает сказываться влияние знака первоначальной деформации. Если металл подвергнуть слабой пластической деформации нагрузкой одного знака, то при перемене знака нагрузки обнаруживается понижение сопротивления начальным пластическим деформациям (эффект Баушингера). Возникшие при первичной деформации дислокации обуславливают появление в металле остаточных напряжений, которые, складываясь с рабочими напряжениями при перемене знака нагрузки, вызывают снижение предела пропорциональности, упругости и текучести металла. С увеличением начальных пластических деформаций величина снижения механических характеристик увеличивается.

Эффект Баушингера явно проявляется при незначительном начальном наклепе. Низкий отпуск наклепанных материалов ликвидирует все проявления эффекта Баушингера. Эффект значительно ослабляется при многократных циклических нагружениях материала с наличием малых пластических деформаций разного знака.

#### 7.1.5. Эффект Пойнтинга

Пойнтингом было установлено, что при закручивании стальных и медных проволок они не только закручиваются, но также упруго удлиняются и увеличиваются в объеме. Удлинение проволоки примерно пропорционально квадрату угла закручивания: при заданном значении угла удлинение пропорционально квадрату радиуса. Диаметр проволоки при закручивании уменьшается, величина радиального сжатия при этом пропорциональна квадрату угла закручивания. Эффект был открыт давно, и еще Пойнтингом было доказано, что удлинение при закручивании не связано с изменением модуля Юнга — это позволяет предполагать, что свойства материала останутся без изменений. Эффект Пойнтинга нашел применение в машиностроении. Пример тому авт. свид. № 546.456: Способ демонтажа прессовых соединений деталей типа вал-втулка путем воздействия на охватываемую деталь

усилием впрессовки, отличающийся тем, что, с целью снижения усилия впрессовки, например, подшипников качения с вала, перед впрессовкой обхватываемую деталь, например, вал, скручивают.

Малая величина эффекта позволяет указать на возможность его применения в некоторых областях измерительной техники. Калиброванные изменения радиуса — это переменный калибр толщины: радиальное сжатие с одновременным удлинением — это изменение (хотя и малое, но надежно калиброванное) электросопротивления проволоки и т. д.

#### 7.1.6. Дислокационно-динамическая диффузия

В мировой практике на измельчение и дробление различных материалов тратится более 15% вырабатываемой электроэнергии. Вместе с тем КПД дробильно-размольных агрегатов в ряде случаев не превышает 2%.

С целью повышения КПД дезинтеграции совершенствовали механический процесс дезинтеграции за счет применения электрогидравлического эффекта (эффекта Юткина), электроимпульсного дробления — электрической искрой материал раскалывается, как клином. Известен также эффект Снайдера: материал разрывается за счет мгновенного знакопеременного давления.

Несмотря на то, что твердый материал легче разрушить методом разрыва, чем сжатия, расходы электроэнергии при этих способах весьма значительны и в большинстве случаев превосходит затраты при обычных способах дезинтеграции.

Достаточно эффективным является метод дезинтеграции твердых материалов за счет использования способа одновременного сжатия со сдвигом (конусная инерциальная дробилка).

Известны и давно применяются способы интенсификации дробления и измельчения за счет применения поверхностно-активных веществ.

Использование явления, открытого в 1997 году, под названием «Дислокационно-динамическая диффузия» и других явлений (открытие № 66, Г. И. Агафонов, О. А. Болтунов, Г. А. Денисов, В. А. Ивахнюк, Г. К. Ивахнюк, Е. В. Омельченко, А. А. Шевченко) также способствуют интенсификации процесса дезинтеграции за счет развития микротрещин. Авторами открытия в процессе

многочисленных опытов было обнаружено, что процесс динамической дезинтеграции твердых поликристаллических материалов значительно интенсифицируется при наложении на дезинтегрируемый материал частотно-модулированных переменных электрических полей малой мощности и частоты (10–100 Гц). При этом скорость образования тонких фракций возрастает на 20% и более.

#### **7.1.7. Связь удельной энергии деформирования и скорости силового нагружения**

В 1997 году зафиксировано открытие (№ 78, В. П. Малков, Л. Н. Крамарев), устанавливающее закономерную связь удельной энергии деформирования твердого материала и скорости силового нагружения при одновременном напряженно-деформированном состоянии, заключающаяся в том, что при скоростях нагружения меньших скорости распространения звука в данном материале величина удельной энергии твердого материала в области деформирования, предшествующей его разрушению, остается постоянной.

#### **7.1.8. Связь энергоплотности с параметрами кристаллических веществ**

Открытие этого эффекта (№ 73, В. В. Зуев, Н. А. Моцалов, А. И. Щербатов) установило, что при увеличении энергоплотности (суммарной энергии химических связей в единице объема вещества) относительная твердость, температура плавления, скорость звука и др. в кристаллах вещества линейно возрастают.

#### **7.1.9. Явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах**

При статическом сжатии горной породы с остаточными напряжениями наряду с плавным продольным сжатием и поперечным растяжением происходит скачкообразное и знакопеременное изменение деформации, обусловленное нарушением внешней нагрузки равновесия имеющих остаточных напряжений и их взаимодействием с напряжениями, образующимися от действия внешних сил (открытие № 90, И. Т. Айтматов, К. Т. Тажибаев). Обнаруженное явление изменяет представления относительно

справедливости указанной гипотезы, позволяющей пользоваться обобщенным законом Гука в теоретических расчетах и соответствующих геомеханических прогнозах.

#### **7.1.10. Эффект разделения частиц магнитным полем**

Установлена закономерность разделения частиц измельченной железной руды в токопроводящих жидкостях под воздействием неоднородного магнитного поля, заключающаяся в том, что при наложении неоднородного поля северного полюса магнита на измельченную железную руду интенсивность разделения руды на магнитные и немагнитные частицы увеличивается по сравнению с воздействием поля южного полюса магнита, обусловленная суммарным воздействием основного и дополнительного поля, вызванного смещением в неоднородном поле зарядов жидкостной обкладки двойного электрического слоя на границе раздела твердой и жидкой фаз (открытие № 72, В. П. Мартыненко, В. Ф. Бадагов, В. Г. Кузнецов, С. М. Таран, А. С. Красуля, В. А. Зенин, А. К. Шидловский). Практическое значение открытия состоит в том, что на его базе создано оборудование нового технологического уровня — высокоэффективные магнитные гидросепараторы, магнитные классификаторы и новая ресурсосберегающая технология.

#### **7.2. ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ПРИ УДАРАХ. ЭФФЕКТ АЛЕКСАНДРОВА**

Коэффициент передачи энергии от ударяющего тела к ударяемому зависит от отношения их масс — чем больше это отношение, тем больше передаваемая энергия. Поэтому в машинах ударного действия всегда старались учесть это соотношение, по крайней мере до 1954 года, когда Е. В. Александровым было установлено, что с ростом соотношения масс коэффициент передачи растет лишь до определенного критического значения, определяемого свойствами и конфигурациями соударяющихся тел (удар упругий). При увеличении отношения масс соударяющихся тел сверх критического коэффициента передача энергии определяется не реальным соотношением масс, а критическим значением этого соотношения. Соответственно, коэффициент восстановления определяется формой и массой соударяющихся тел и степенью рассеяния энергии.

Очевидно, этот эффект обязательно должен учитываться при проектировании машин ударного действия. Наглядная иллюстрация к тому:

Авт. свид. № 447.496, Е 21 В 17/00. Наддолотный утяжелитель, состоящий из несоединенных между собой свободно установленных на бурильной колонне грузовых трубчатых элементов, отличающийся тем, что, с целью усиления ударных нагрузок на долото, каждый выпележащий грузовой трубчатый элемент имеет большую массу по сравнению с нижележащим.

### 7.3. ЭФФЕКТ РАДИАЦИОННОГО РАСПУХАНИЯ МЕТАЛЛА

Как бы ни пытались исправить деформированную деталь, она все равно вспомнит свой дефект, частично восстановит прежнюю покоробленность. Виною тому внутренние напряжения в материалах. Они существуют всегда. Отжиг ликвидирует их в металлах, но при остывании, которое идет неравномерно, внутренние напряжения, хотя и ослабленные, появляются вновь. С помощью холодной правки идеально выгладить стальные изделия невозможно. Здесь на помощь может прийти радиоактивное излучение.

При облучении нейтроны врываются в недра металла и, сталкиваясь с ядрами ионов или атомов, выбивают их из узлов кристаллической решетки. Те, в свою очередь, ударяясь о другие ионы, либо остаются на их месте, либо оставляют эти места свободными. Большая же часть ионов внедряется в междузлия. Обрабатываемая часть изделия при этом увеличивает свой объем.

Так вот, если изогнутую часть детали подвергнуть радиоактивному облучению с вогнутой стороны, то внедрившиеся частицы, расталкивая ионы и атомы кристаллической решетки, начнут разгибать деталь. Изменение кривизны можно контролировать обычным измерительным прибором, следить за ней постоянно во время правки и закончить процесс только на «нуле». Причем править можно в сборе, на готовой машине.

Действие радиации легко рассчитать. Известно, что максимальное изменение объема стали при нейтральном облучении составляет 0,3%. Например, если подвергнуть облучению только средний участок стальной детали длиной 1000 мм и высотой 50 мм, только устраняется прогиб в 2,5 мм. Неметаллические и композиционные материалы при облучении изменяют свой объем еще сильнее.

Например, пластмассы — до 24%. С помощью радиации мы не просто выпрямляем деталь, а перераспределяем внутренние напряжения до нового равновесного состояния масс внедрившихся частиц. Поэтому изделия самопроизвольно уже не разогнутся.

## 7.4. СПЛАВЫ С ПАМЯТЬЮ

Некоторые сплавы металлов — титан-никель, золото-кадмий, медь-алюминий обладают «эффектом памяти». Если из такого сплава изготовить деталь, а затем ее деформировать, то после нагрева до определенной температуры деталь восстанавливает в точности свою первоначальную форму. Из всех известных сейчас науке сплавов «с памятью» наиболее уникальны по спектру свойств сплавы из титана и никеля: сплавы ТН (за рубежом они известны под названием нитинол). Сплавы ТН развивают большие усилия при восстановлении своей формы. Этим воспользовались в институте металлургии им. А. А. Байкова. После того, как нитинолу дадут «запомнить» сложную форму, изделие вновь превращают в плоский лист. На его поверхность наносят обычными приемами — с помощью прокатки, напыления, сварки взрывом или как-либо иначе слой любого другого металла или сплава. Такой металлический «слоенный пирог» после нагревания вновь превращается в деталь сложной конфигурации. Таким образом, можно в принципе создавать многослойные изделия любой формы, которые обычными приемами создать никак нельзя. Сплавы ТН легко обрабатываются. Из них изготавливают всевозможные изделия: листы, пружины, поковки. Кроме того, эти сплавы сравнительно экономичны, коррозионностойки, хорошо гасят вибрации. Из нитинола американцы сделали антенны для спутников. В момент запуска антенна свернута, занимает очень мало места. В космосе же, нагретая солнечными лучами, она принимает сложнейшие формы, приданные ей еще на Земле.

При соединении полых деталей с каркасом заклепки из сплава ТН существенно упростят дело. Вставили заклепку с памятью, нагрели ее, она «вспомнила», что уже была некогда расплющена, и приняла свою первоначальную форму. Сплавы «с памятью» открывают новые возможности в деле непосредственного преобразования тепловой энергии в механическую.

Нагретую ТН-проволоку свернули в спираль, охладили, подвесили гирьку — пружина растянулась. Если теперь через проволоку пропустить электрический ток, пружина нагреется и восстановит свою форму — гирька ползет вверх. Выключаем ток — гирька вновь опускается и т. д. По сути дела — это искусственный мускул. На этом принципе можно делать двигатели нового типа, использующие даровую энергию Солнца.

Перспективы для сплавов «с памятью» самые заманчивые: тут и тепловая автоматика, быстродействующие датчики, термоупругие элементы, реле, приборы контроля, тепловые домкраты, напряженный железобетон и многое другое.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Каганов М. И., Нацик В. Д. Электроны тормозят дислокацию // Природа, 1976, № 5.
2. Спицын В. И., Троицкий О. А. Электропластическая деформация металлов // Природа, 1977.
3. Осиньян Ю., Савченко И. Письма в ЖЭТФ, вып. 7, № 4.
4. Ратнет С. И., Данилов Ю. С. Изменение пределов пропорциональности и текучести при повторном нагружении // Заводская лаборатория, 1950, № 4.
5. Ходж Ф. Теория идеально пластических тел. — М., 1956.
6. Корнилов И. И. и др. Никелид титана и другие сплавы с эффектом «памяти». Наука, 1977.
7. Вибрационная дезинтеграция твердых материалов / Ревнивцев В. И., Денисов Г. А., Зарогатский Л. П., Туркин В. Я. — М.: Недра, 1991.
8. Малков В. П. Энергоемкость механических систем. — Н. Новгород, 1995.
9. Зуев В. В. Энергоплотность свойств минералов и энергетическое строение Земли. — СПб.: Наука, 1995.
10. Айтматов И. Т., Тажибаев К. Т. Проявление остаточных напряжений в деформации горных пород при их нагружении // Физика и механика разрушения горных пород. — Фрунзе: Илим, 1987.
11. Мартыненко В. П. и др. Магнитная гидросепарация — новая технология обогащения тонковкрапленных железных руд // Современные пути развития горного оборудования и технология переработки минерального сырья. — Днепропетровск, 1996.



## МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

### 8.1. ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

Все вещества (газы, жидкости и твердые тела) имеют атомно-молекулярную структуру. Атомы и молекулы во всем диапазоне температур находятся в непрерывном хаотическом движении, причем чем выше температура объема вещества, тем выше скорость перемещения отдельных атомов и молекул внутри этого объема (в газах и жидкостях) или их колебания — в кристаллических решетках твердых тел. Поэтому с ростом температуры увеличивается среднее расстояние между атомами и молекулами, в результате газы, жидкости и твердые тела расширяются при условии, что внешнее давление остается постоянным. Коэффициенты расширения различных газов близки между собой, для жидкостей они могут различаться на порядок. Величина теплового расширения твердых тел определяется их строением. Структура с плотной упаковкой (алмаз, платина, отдельные металлические сплавы) малочувствительны к температуре; рыхлая неплотная упаковка вещества способствует сильному расширению твердых тел (алюминий, полиэтилен).

#### 8.1.1. Сила теплового расширения

При температурном расширении или сжатии твердых тел развиваются огромные усилия, это можно использовать в соответствующих технологических процессах. Например, это свойство можно использовать в электрическом домкрате для растяжения арматур при изготовлении напряженного железобетона. Принцип действия очень прост: к растягиваемой арматуре прикрепляют стержень из металла с подходящим коэффициентом термического расширения. Затем его нагревают током от сварочного трансформатора, после чего стержень жестко закрепляют

и убирают нагрев. В результате охлаждения и сокращения линейных размеров стержня развивается тянущее усилие порядка сотен тонн, которое растягивает холодную арматуру до необходимой величины. Так как в этом домкрате работают молекулярные силы, он практически не может сломаться.

### 8.1.2. Получение высокого давления

С помощью теплового расширения жидкости можно создать необходимые гидростатические давления.

Авт. свид. № 471.140, В 21 С 3/14. Устройство для волочения металлов со смазкой под давлением, содержащее установленные в корпусе рабочую и уплотнительную волокни, образующие между собой и корпусом камеру, в которой находится смазка и средства для создания высокого давления, отличающееся тем, что, с целью упрощения конструкции и повышения производительности, средство для создания в камере высокого давления выполнено в виде нагревательного элемента, расположенного внутри камеры.

### 8.1.3. Разностные эффекты

Тепловое расширение поможет просто решить технические задачи, которые обычными средствами разрешаются с большим трудом. Например, для того, чтобы ступица прочно охватывала вал, первую перед напрессовкой нагревают. После охлаждения надетой на вал ступицы силы термического сжатия делают этот узел практически монолитным. Но как после этого разобрать данное соединение? Механически — почти невозможно без риска испортить деталь. Но достаточно сделать вал из металла с коэффициентом термического расширения или, если это невозможно, ввести в сопрягаемое пространство прокладку из металла с меньшим коэффициентом терморасширения, как техническое противоречие исчезает.

Общеизвестные биметаллические пластинки — соединенные каким-либо способом две металлические полоски с различным терморасширением — являются отличным преобразователем тепловой энергии в механическую.

Авт. свид. № 175.190, В 22 D 10/00. Устройство для учета количества наливов металла в наложницу, отличающееся тем, что, с целью автоматизации процесса учета, оно выполнено в виде корпуса, прикрепленного к

изложнице, в полости которого расположено счетное устройство, состоящее из трубки с шариком и биметаллической пластинки, на конце которой укреплены отсекающий, пропускающий при нагреве пластинки шарик, падающий в накопительную емкость.

Использование эффекта различного расширения у различных металлов позволило создать тепловой диод.

Авт. свид. № 518.614, F 28 F 13/4. 1. Тепловой диод, содержащий входной и выходной теплопроводы, имеющие узел теплового контакта, отличающийся тем, что, с целью упрощения конструкции, узел теплового контакта выполнен по типу «вилка-розетка» и вилка выполнена в теле входного, а розетка — в теле выходного теплопроводов.

2. Диод по п. 1, отличающийся тем, что входной теплопровод выполнен из материала с высоким коэффициентом линейного удлинения, например, меди, а выходной — из материала с малым коэффициентом линейного удлинения, например, инвара.

#### **8.1.4. Точность теплового расширения**

Тепловое расширение как процесс обратимый и легко управляемый применяется при проведении весьма филигранных работ, таких, как микроперемещение объектов, например, в поле зрения микроскопа или измерения с помощью тепловых электроизмерительных приборов.

Патент США № 3.569.707. Устройство для измерения импульсного излучения при помощи теплодатчиков. Энергия, поглощаемая материалом, на который воздействует импульсное ядерное излучение, измеряется путем детектирования теплового расширения этого материала теплодатчиками.

### **8.2. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ. АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА**

При фазовых переходах первого рода скачком изменяются плотность вещества и энергия тела; очевидно, при фазовых переходах первого рода всегда выделяется или поглощается конечное количество тепловой энергии. При фазовых переходах второго рода плотность и энергия меняются непрерывно, а скачок испытывают такие величины, как теплоемкость, теплопроводность; фазовые переходы второго рода не сопровождаются поглощением или выделением энергии. Примером фазового перехода второго рода может служить

переход жидкого гелия в сверхтекучее состояние, переход ферромагнетика в парамагнетик при точке Кюри, переупорядочение кристаллов сплавов и др.

Характерным примером фазового перехода первого рода может служить переход вещества из одного состояния в другое.

В физике рассматриваются четыре агрегатных состояния: твердое, жидкое, газообразное и плазменное. В переходах вещества из одного агрегатного состояния в другое, как уже отмечено выше, обязательно выделяется или поглощается тепло. Переход от более упорядоченных структур к менее упорядоченным требует притока тепла извне, при обратных переходах выделяется такое же количество тепла, которое поглощается при прямом переходе. Отметим, что, как правило, переход из одного агрегатного состояния в другое обычно имеет место при постоянной температуре. Таким образом, фазовый переход является источником (или поглотителем) тепла, работающим практически при постоянной температуре.

Авт. свид. № 426.030, Е 21 В 47/00. Способ изолирования катушки индуктивности в глубинном приборе путем заполнения диэлектриком камеры, в которой расположена катушка, отличающийся тем, что, с целью упрощения конструкции прибора и повышения его эксплуатационной надежности, в качестве диэлектрика используют вещество, температура плавления которого ниже минимальной температуры в зоне измерения и выше температуры корпуса прибора перед его спуском и в период спуска в скважину.

Нередко изменения агрегатного состояния вещества позволяют очень просто решать до этого почти неразрешимые технические задачи. Например, как заполнить послойно емкость смешивающимися между собой жидкостями?

Авт. свид. № 509.275, А 47 J 47/00. Способ послойного заполнения емкости смешивающимися между собой жидкостями путем последовательного анализа их, отличающийся тем, что, с целью упрощения процесса, первую жидкость, налитую в емкость, замораживают, следующую жидкость наливают на верхний слой замороженной жидкости, а затем последнюю размораживают.

При изменениях агрегатного состояния вещества резко изменяют свои электрические характеристики. Так, если металл в твердом или жидком виде — проводник, то пары металла — типичный диэлектрик. Это свойство остроумно использовано в Патенте США № 3.566.695. Прибор

для измерения давления жидкого металла содержит пробоотборную трубку типа трубки Венути, через участок этой пробоотборной трубки пропускают регулируемый электрический ток. При определенной величине тока температура взятой пробы жидкого металла возрастает до тех пор, пока жидкий металл не перейдет в парообразное состояние, в результате чего ток прерывается. Период времени, в течение которого через участок пробоотборной трубки протекает ток, является функцией давления жидкого металла в системе. Таким образом, период времени при отборе пробы и подсчете импульсов тока вплоть до момента испарения определяется давлением жидкого металла в системе.

### 8.2.1. Эффект сверхпластичности

Как отмечалось выше, перекристаллизация металла является фазовым переходом второго рода. В момент перекристаллизации возникает эффект сверхпластичности металла. В этот момент металл, ранее имевший прочную и сверхпрочную структуру, становится пластичным, как глина. Но длится это явление считанные мгновения и протекает в очень узком, причем непостоянном интервале температур. Непосредственно подстеречь момент, когда начинается фазовое превращение, невозможно, но известно, что при перестройке кристаллической решетки металл начинает переходить из парамагнитного состояния в ферромагнитное, что сопровождается резким изменением его магнитной проницаемости. Этим воспользовались авторы изобретения.

Авт. свид. № 207.678, В 23 К 5/00. Пусковое устройство пресса связано с прибором, улавливающим момент фазового перехода: заготовку, нагретую до температуры чуть выше интервала фазового превращения, кладут в матрицу пресса. Остывая, металл заготовки в момент перекристаллизации резко изменяет свою магнитную проницаемость, что отмечается изменением тока в измерительной обмотке прибора, который включает пресс.

Чтобы продлить время сверхпластичности, датчик фазового превращения связывают не только с пусковым устройством пресса, но и с нагревательными элементами. Пилообразно гоняя заготовку вверх и вниз и по всему интервалу температур фазового превращения, можно поддерживать состояние сверхпластичности сколь угодно долго. Ничто не мешает использовать датчики, которые

реагировали бы на изменение других физических свойств обрабатываемого материала, например, электросопротивления, теплоемкости и т. д. Значит, принцип действия можно распространить и на немагнитные материалы.

У сталей существует еще один фазовый переход, идущий при очень низких температурах (ниже минус 60°C), когда аустенит в стали переходит в мартенсит. И в этот момент наблюдается эффект сверхпластичности. Значит, можно, в принципе, отказаться от горячей штамповки, совместив процесс штамповки в сверхпластичном состоянии с закалкой стали в жидком азоте.

### 8.2.2. Изменение плотности и модуля упругости при фазовых переходах

Интересно, что мартенсит имеет меньшую пластичность, чем аустенит. Если к изогнутой деформацией части детали приложить хотя бы кусок «сухого льда», температура которого минус 67°C, то обрабатываемый участок расширится, распрямив тем самым деталь. А поскольку фазовый переход необратим, то самопроизвольного восстановления кривизны в дальнейшем не произойдет.

К плюсам нового метода надо добавить еще один: выдержка низкой температуры в течение 5 минут и 5 часов дает практически одинаковые результаты. Ну и, конечно, обработку изогнутых деталей холодом, как и радиацией, можно вести в собранной, готовой машине.

Изменяется плотность при фазовых переходах и у других веществ (например, у воды и олова), что позволяет использовать их для получения высоких давлений.

У хрома есть любопытная температурная точка 37°C, в которой он претерпевает фазовый переход, при этом у него скачком изменяется модуль упругости. На этом свойстве основан ряд изобретений.

Авт. свид. № 266.461, F 02 F 3/00. Двигатель, содержащий деформируемые при изменении температуры рабочего тела упругие элементы, кинематически связанные с механизмом отбора мощности, отличающийся тем, что, с целью получения полезной работы при малых перепадах температур рабочего тела, упругие элементы выполнены предварительно напряженными и изготовлены из материала со скачкообразно изменяющимся при определенной температуре модулем упругости, например, из чистого хрома.

В авт. свид. № 263.209, G 01 K 5/08, чувствительным элементом термометра является пружина из чистого хрома.

### 8.3. ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ. КАПИЛЛЯРНОСТЬ

Любая жидкость ограничена поверхностями раздела, отделяющими ее от какой-либо другой среды — вакуума, газа, твердого тела, другой жидкости. Энергия поверхностных молекул жидкости отлична от энергии молекул внутри жидкости именно в силу того, что те и другие имеют различных соседей — у внутренних молекул все соседи одинаковы, у поверхностных такие же молекулы расположены только с одной стороны. Поверхностные молекулы при заданной температуре имеют определенную энергию; перевод этих молекул внутрь жидкости приведет к тому, что их энергия изменится (без изменения общей энергии жидкости).

#### 8.3.1. Поверхностная энергия

Разность этих энергий носит название **поверхностной энергии**. Поверхностная энергия пропорциональна числу поверхностных молекул (т. е. площади поверхности раздела) и зависит от параметров соприкасающихся сред; эта зависимость обычно характеризуется коэффициентом поверхностного натяжения.

Наличие поверхностной энергии вызывает появление сил поверхностного сжатия, стремящихся сократить поверхность раздела. Такое стремление есть следствие общего физического закона, согласно которому любая система стремится свести свою потенциальную энергию к минимуму. Жидкость, находящаяся в невесомости, будет принимать форму шара, поскольку поверхность шара минимальна среди всех поверхностей, ограничивающих заданный объем.

Конечно, поверхностные силы существуют и в твердых телах, но относительная малость этих сил не позволяет им изменить форму тела, хотя при определенных условиях поверхностные силы могут привести к сглаживанию ребер кристаллов.

#### 8.3.2. Смачивание

При контакте жидкости с твердой поверхностью говорят о смачивании. В зависимости от числа фаз, участвующих в смачивании, различают имерсионное смачивание (смачивание при полном погружении твердого тела в жид-

кость), в котором участвуют только две фазы, и контактное смачивание, в котором наряду с жидкостью с твердым телом контактирует третья фаза — газ или другая жидкость. Характер смачивания определяется прежде всего физико-химическими воздействиями на поверхность раздела фаз, которые участвуют в смачивании.

При контактном смачивании свободная поверхность жидкости около твердой поверхности (или около другой жидкости) искривлена и называется мениском. Линия, по которой мениск пересекается с твердым телом или жидкостью, называется периметром смачивания. Явление контактного смачивания характеризуется краевым углом между смоченной поверхностью твердого тела (жидкости) и мениском в точках их пересечения (периметром смачивания).

В зависимости от свойств соприкасающихся поверхностей происходит смачивание (вогнутый мениск) или не смачивание (выпуклый мениск) поверхности жидкостью.

Автоматический дозатор из одной детали. Такой деталью служит перфорированная фторопластовая пленка. В этой пленке всегда задерживается одинаковый по высоте столбик жидкости. Фторопласт практически не смачивается — поэтому скорость истечения через отверстие зависит только от давления. Кроме отбора проб жидкости из потока, такой дозатор может служить для измерения коэффициента поверхностного натяжения.

### 8.3.3. Автофобность

При растекании жидкости по ее собственному монослою, адсорбированному на высокоэнергетической поверхности, наблюдается эффект автофобности. Эффект заключается в том, что при контакте жидкости, имеющей низкое поверхностное натяжение, с высокоэнергетическими материалами, происходит вначале полное смачивание, а затем, через некоторый промежуток времени, условия полного смачивания перестают выполняться. В результате изменится направление движения периметра смачивания — жидкая пленка начинает собираться в каплю (или несколько капель) с конечным краевым углом. На ранее смоченных участках твердого тела остается прочно фиксированный монослой молекул жидкости. Эффект используется для нанесения монослойных покрытий на твердые материалы.



Капиллярное давление появляется из-за искривления поверхности жидкости в капилляре. Для выпуклой поверхности давление положительно, для вогнутой — отрицательно. Эффект определяет движение жидкостей в порах, влияет на кипение и конденсацию.

Капиллярное испарение — увеличение испарения жидкости вследствие повышения давления насыщенного пара над выпуклой поверхностью жидкости в капилляре; используется для облегчения кипения путем изготовления шероховатых поверхностей.

Капиллярная конденсация — увеличение конденсации жидкости вследствие понижения давления насыщенного пара над вогнутой поверхностью жидкости в капилляре. Пар может конденсироваться при температуре выше точки кипения.

Используется для осушки газов, в хроматографии.

Течение жидкости в капиллярах, а также в полукрытых каналах, например, в микротрещинах и капиллярах.

Авт. свид. № 279.583, В 01 D 1/22. Распределитель жидкости, например, в колоннах с насадкой, состоящей из перфорированной плиты с укрепленной на ней трубкой для подачи жидкости, отличающийся тем, что, с целью равномерного распределения жидкости при малых расходах, трубки выполнены в виде капилляров, нижние концы имеют косые срезы.

Авт. свид. № 225.284, Н 01 М 27/02. Солнечный концентратор для термоэлектрогенератора, отличающийся тем, что, с целью сохранения высокого коэффициента отражения в течение всего времени работы, его отражающая поверхность выполнена в виде сотовой, пористой или капиллярной структуры, заполненной расходуемым металлом или сплавом, поступающим благодаря капиллярным силам с тыльной стороны концентратора.

### **8.3.5. Эффект капиллярного подъема (опускания)**

Эффект капиллярного подъема (опускания) — возникает из-за различия давлений над и под поверхностью жидкостей в капиллярном канале. Связь между характером смачивания и капиллярным давлением оказывает

большое влияние на возможность проникновения жидкостей в поры и на их вытеснение из пор, что в свою очередь играет важную роль в процессах пропитки, фильтрации, сушки и т. д.

### 8.3.6. Ультразвуковой капиллярный эффект

Открытие № 109: Ультразвуковой капиллярный эффект — увеличение скорости и высоты подъема жидкости в капиллярах при непосредственном воздействии ультразвука в десятки раз. Этот эффект реализован в авт. свид. № 315.244 «Способ ультразвуковой пропитки пористых материалов». В авт. свид. № 399.692 он применен для резкого повышения эффективности тепловой трубы, для чего в зоне конденсации тепловой трубы прикрепили через акустический концентратор излучатель магнито-стрикционного типа, соединенный с генератором ультразвуковой частоты. Ультразвук, воздействуя на пористый фильтр, способствует быстрейшему возврату конденсата в зону испарения. При этом величина максимального удельного теплового потока возрастает на порядок.

### 8.3.7. Термокапиллярный эффект

Термокапиллярный эффект — зависимость скорости растекания жидкости от неравномерности нагрева жидкого слоя. Эффект объясняется тем, что поверхностное натяжение жидкости уменьшается при повышении температуры. Поэтому при различии температур в разных участках жидкого слоя возникает движущая сила растекания, которая пропорциональна градиенту поверхностного натяжения жидкости. В результате возникает поток жидкости в смачивающей пленке. Влияние неравномерного нагрева различно для чистых жидкостей и растворов (например, поверхностно-активных). У чистых жидкостей перетекание происходит от холодной зоны к горячей. При испарении ПАВ, уменьшающих поверхностное натяжение, жидкость начинает перетекать от горячей зоны к холодной. В общем случае движение жидкости определяется тем, как изменяется поверхностное натяжение в зоне нагрева от температуры и испарения какого-либо компонента.

### 8.3.8. Электрокапиллярный эффект

Электрокапиллярный эффект — зависимость поверхностного натяжения на границе раздела твердых и жидких электродов с растворами электролитов или расплавами ионных соединений от электрического потенциала. Эта зависимость обусловлена образованием двойного электрического слоя на границе раздела фаз. Изменением потенциалов можно осуществить инверсию смачивания — переход от несмачивания к смачиванию и наоборот.

### 8.3.9. Капиллярный полупроводник

Капилляры обладают способностью избирательной проницаемости. Шейки пор капилляров затрудняют движение только смачивающей жидкости и способствуют продвижению несмачивающей (биологические мембраны).

## 8.4. СОРБЦИЯ

Как уже отмечалось в предыдущем параграфе, любая поверхность вещества обладает свободной энергией поверхности (СЭП).

Все поверхностные явления сводятся к взаимодействию атомов и молекул, которые происходят в двумерном пространстве при непосредственном участии СЭП. Любую твердую поверхность можно представить себе как «универсальный магнит», притягивающий любые частицы, оказавшиеся поблизости. Отсюда вывод: поверхность любого твердого тела обязательно «загрязнена» молекулами воздуха и воды. Опыт показывает, что чем выше степень дисперсности данного тела, тем большее количество частиц другого тела она поможет поглотить своей поверхностью. Процесс самопроизвольного «сгущения» растворенного или преобразованного вещества (газа) на поверхности твердого тела или жидкости носит название сорбции. Поглощающее вещество называется сорбентом, а поглощаемое — сорбтивом. Процесс обратный сорбции называется десорбцией.

В зависимости от того, насколько глубоко проникают частицы, сорбция подразделяется на адсорбцию, когда вещество поглощается на поверхности тела, и абсорбцию, когда вещество поглощается всем объемом тела. В зависимости от ха-

рактера взаимодействия частиц сорбента и сорбтива, существует сорбция физическая (взаимодействие обусловлено силами когезии и адгезии, т. е. силами Ван-дер-Ваальса) и химическая, как ее еще называют, хемосорбция.

#### 8.4.1. Капиллярная конденсация

Особое положение занимает сорбционный процесс, называемый капиллярной конденсацией. Сущность этого процесса заключается не только в поглощении, но и в конденсации твердым пористым сорбентом, например, активированным углем, газов и паров.

Из всех перечисленных выше сорбционных явлений наибольшее значение для практики имеет адсорбция. Чем менее эвергичны молекулы, тем легче они адсорбируются на твердой поверхности. С уменьшением температуры адсорбата (газа) адсорбция увеличивается, а с увеличением температуры — уменьшается.

При адсорбции молекулы газа, сталкиваясь с поверхностью, прекращают движение. Значит, они теряют энергию, а «лишняя» энергия должна выделяться. Вот почему при физической адсорбции выделяется тепло. Причем, последний процесс, если он идет в закрытом объеме, сопровождается понижением давления газа. При десорбции же давление газа — сорбтива — увеличивается, при этом идет поглощение энергии. Это свойство используют в некоторых тепло-силовых установках.

Авт. свид. № 224.743, F 04 B 15/02. Двухфазное рабочее тело для компрессоров теплосиловых установок, состоящее из газа и мелких частиц твердого тела, отличающееся тем, что, с целью дополнительного сжатия газа в холодильнике и компрессоре и дополнительного расширения в нагревателе, в качестве твердой фазы используются сорбенты с общей или избирательной поглотительной способностью.

Очень интересные явления и эффекты происходят при адсорбции на поверхности полупроводников.

#### 8.4.2. Фотоадсорбционный эффект

Фотоадсорбционный процесс — это зависимость адсорбционной способности адсорбента-полупроводника от освещения. При этом эта способность может увеличиваться

(положительный) и уменьшаться (отрицательный фотоадсорбционный эффект). Эффект можно использовать, например, для регулирования давления в замкнутом объеме.

#### **8.4.3. Влияние электрического поля на адсорбцию**

Это зависимость адсорбционной способности от величины приложенного электрического поля. Эффект не симметричен относительно направления поля. Влияет на фотоадсорбционный эффект. Поле прилагают перпендикулярно поверхности полупроводника-адсорбента.

#### **8.4.4. Адсорблюминесценция**

Адсорблюминесценция — это люминесценция, возбуждаемая не светом, а самим актом адсорбции. Свечение длится до тех пор, пока идет процесс адсорбции, и погасает, когда скоро адсорбция прекращается. Яркость свечения пропорциональна скорости адсорбции. Цвет свечения при адсорблюминесценции, как правило, тот же, что и при фотолюминесценции, т. е. определяется природой активатора, введенного в полупроводник, и вовсе не зависит от природы адсорбируемого газа. Адсорблюминесценция является одним из видов хемолюминесценции.

#### **8.4.5. Радикало-рекомбинационная люминесценция (р-рл)**

На поверхности полупроводника могут рекомбинировать приходящие из газовой фазы радикалы, например, атомы водорода. При этом происходит свечение полупроводника, которое длится до тех пор, пока на поверхности идет реакция рекомбинации. При Р-РЛ, как и при адсорблюминесценции, испускаются те же частицы, что и при фотолюминесценции. Они образуют полосу, которую называют обычно основной полосой. Следовательно, цвет люминесценции меняется при смене активатора, но не зависит от природы газа, участвующего в реакции. Наряду с основной, при Р-РЛ наблюдается дополнительная полоса, ее положение, в отличие от основной, не зависит от природы активатора, но меняется при смене газа, участвующего в реакции (например, при замене водорода

кислородом). Обе полосы в известной мере накладываются друг на друга.

Мы видим на примерах адсорблюминесценции и Р-РЛ, как электронные процессы в полупроводнике оказываются связанными с химическими процессами, протекающими на его поверхности.

В результате адсорбции поверхность полупроводника заряжается. При адсорбции акцепторов она заряжается отрицательно, а доноров — положительно.

#### 8.4.6. Адсорбционная эмиссия

Работа выхода электрона может изменяться под действием адсорбции. Это зависит от того, заряжается ли поверхность при адсорбции положительно или отрицательно, т. е. от природы адсорбируемого газа. В первом случае работа выхода снижается, во втором — возрастает. Поэтому, как она изменяется, часто можно судить о составе газовой фазы. Давление газовой фазы также влияет на работу выхода.

#### 8.4.7. Влияние адсорбции на электропроводность полупроводника

Электропроводность поверхности полупроводника монотонно изменяется по мере хода адсорбции, но не достигает некоторого постоянного значения. Часто за процессом можно следить по изменению электропроводности. Адсорбция вызывает увеличение или уменьшение электропроводности полупроводника в зависимости от того, какой газ (акцепторный или донорный) адсорбируется и на каком полупроводнике (электронном или дырочном).

Например, кристаллы двуокиси олова изменяют свою проводимость в присутствии водорода, окиси углерода, метана, бутана, пропана, паров бензина, ацетона, спирта. Нагревание кристалла изменяет величину этого эффекта. Это количественное различие может быть зафиксировано чувствительным прибором. Можно представить себе аппарат, в котором изменение электрических свойств кристалла при появлении в воздухе искомого вещества дает импульс сигнальному устройству, отградуированному определенным образом в зависимости от назначения.

## 8.5. ДИФФУЗИЯ

Если состав газовой смеси или жидкости не однороден, то тепловое движение молекул рано или поздно приводит к выравниванию концентрации каждой компоненты во всем объеме. Такой процесс называется диффузией. При протекании процесса диффузии всегда имеются так называемые диффузионные потоки вещества, величина и скорость которых определяется свойствами среды и градиентом концентрации. Скорость диффузии в газах увеличивается с понижением давления и ростом температуры. Увеличение температуры вызывает ускорение диффузионных потоков в жидкостях и твердых телах. Кроме градиента концентрации, к возникновению диффузионных потоков приводит наличие температурных градиентов в веществе (термодиффузия). Перепад температур в неоднородной по составу смеси вызывает появление разности концентрации между областями с различной температурой, при этом в газах более легкая компонента газовой смеси скапливается в области с более низкой температурой. Таким образом, явление термодиффузии можно использовать для разделения газовых смесей; этот метод весьма ценен для разделения изотопов.

### 8.5.1. Эффект Дюфора

При диффузионном перемещении двух газов, находящихся при одинаковой температуре, наблюдается явление, обратное термодиффузии: в смеси возникает разность температур — эффект Дюфора. При диффузионном смещении газов, составляющих воздух, возникающая разность температур составляет несколько градусов.

Явление диффузии молекул лежит в основе работы диффузионных вакуумных насосов (пароструйные насосы); термодиффузия паров метилового спирта обеспечивает возможность надежной работы так называемых диффузионных камер — приборов для наблюдения ионизирующих частиц.

Диффузия в твердых сплавах со временем приводит к однородности сплава. Для ускорения диффузии применяется длительный нагрев сплава (отжиг); уничтожение внутренних напряжений при отжиге металлов также есть следствие процессов диффузии и их ускорения при повышении температуры.

Создание больших концентраций газа на границе с металлом при создании условий, обеспечивающих некоторое разрыхление поверхностного слоя металла, приводит к диффузии газа внутрь металла; диффузия азота в металл лежит в основе процесса азотирования. Диффузионное насыщение поверхностных слоев металла различными элементами позволяет получить самые различные свойства поверхностей, необходимые в практике. Физически процессы цементации, азотирования, фосфатирования есть процессы диффузии углерода, алюминия, фосфора внутрь структуры металла. Скорость диффузии при этом легко регулируется с помощью различных режимов термообработки.

Авт. свид. № 461.774, В 21 J 5/00. Способ производства изделий из низкоуглеродистых сталей путем отжига заготовки и холодного выдавливания, отличающийся тем, что, с целью улучшения условий выдавливания, перед отжигом заготовку подвергают термодиффузионной обработке, преимущественно цементации.

### 8.6. ОСМОС

Осмозом обычно называют диффузию какого-либо вещества через полупроницаемую перегородку. Основное требование к полупроницаемым перегородкам — обеспечение невозможности противодиффузий. Так, если два раствора концентрации разделить перегородкой, задерживающей молекулы растворенного вещества, не пропускающей молекулы растворителя, то растворитель будет переходить в концентрированный раствор, разбавляя его и создавая там избыток давления, называемый обычно осмотическим давлением. Питание растений водой, явление диализа, явление гипельфилтрации, наконец, обычное набухание — все это типичные осмотические эффекты. Величина осмотического давления клеток многих растений составляет 5–10 атм, а осмотическое давление крови человека доходит почти до 8 атм.

Энергию осмотического давления предложили использовать авторы английского патента № 1.434.891: «Способ генерации механической энергии и устройство, реализующее этот способ». Конструкция по этому патенту представляет собой открытую сверху трубу, погруженную в замкнутую полость, куда налита вода. Трубка сделана из прочного материала, в ней насверлено множество мелких отверстий, закрытых полупроницаемой оболочкой, например, из



ацетатцеллюлозы. Труба заполнена концентрированным рассолом, и в нее начинает просачиваться вода, т. е. происходит осмос. Создается повышенное давление, поднимающее плунжер, связанный с массивным поршнем. Поршень сжимает в цилиндре воздух. Можно создать давление до 3000 атм. Сжатый воздух можно использовать для вращения воздушной турбины. Изобретатели утверждают, что их «осмотический двигатель», состоящий из нескольких плунжеров и поршней, будет генерировать мощность, достаточную для движения автомобиля.

Теория осмотических явлений описывается в курсах термодинамики и статической физики. Огромна роль осмотических явлений в работе кровеносных систем человека и животных.

### 8.6.1. Электроосмос

Осмос можно усилить (или ослабить), применяя электрические поля. Направление движения раствора относительно поверхности твердого тела под действием электрического поля носит название электроосмоса, являющегося одной из разновидностей электрокинетических явлений.

Липкая масса из смеси влажных грунтов с песком и остатками угля на дне вагонеток почти не поддается очистке даже специальными машинами. Специалисты Новомосковского института НПИУИ предложили использовать для очистки электроосмос. Под действием на вагонетку с породой внешнего электрического поля между ее станками и грузом (при движении воды относительно твердой горной массы) создается тончайшая водяная пленка. Такой «прокладке» достаточно, чтобы налипшая порода легко отделялась от корпуса вагонетки.

Авт. свид. № 240.825, Н 01 В 8/00. Способ сушки изоляции кабелей в шахтах электросетей с изолированной нейтралью, отличающийся тем, что, с целью упрощения процесса, токоведущие жилы кабелей подсоединяют к положительному полюсу источника постоянного тока, отрицательный полюс которого соединяют с землей для осуществления сушки за счет использования явления электроосмоса.

### 8.6.2. Обратный осмос

Явление обратного осмоса применено (США) для получения питьевой воды из сильно загрязненной или соленой (гипельфльтрации). Непосредственно явление об-

ратного осмоса происходит на границе вода-синтетическое волокно: внутрь волокна проходит только вода, оставляя за бортом соли и грязь. Сама установка состоит из многих миллионов волокон, собранных в жгут и помещенных в стальной цилиндр, в который подается «грязная» вода под давлением. Предусмотрен отдельный отбор чистой воды и насыщенного раствора.

Над проектом электростанции, использующей силы осмотического давления, работают сейчас ученые. Принцип действия такой электростанции прост. Трубу с полупроницаемой мембраной опускают в море. На глубине около 230 м столб воды создает такой перепад давления на мембране, что она начинает работать как опреснитель. Соленая вода тяжелее пресной примерно на 2,5%. Чтобы пресная вода поднялась до уровня моря и стала переливаться через край трубы, трубу необходимо опустить на глубину 8750 м. Переливающаяся вода может вращать турбину.

## 8.7. ТЕПЛОМАСООБМЕН

Известны три основных механизма теплообмена — конвекция, излучение и теплопроводность, в которой участвуют движущиеся или неподвижные молекулы вещества, совершающие тепловые колебания. Передача тепла может сопровождаться перемещением массы, или перемещение массы создается специально для того, чтобы получить необходимый теплообмен.

Очень широко используется теплообмен при сушке, которая применяется в различных областях техники и технологии. Наиболее эффективно процесс сушки идет в аппаратах со встречными потоками: сверху свободно падает вещество, подвергаемое сушке. А снизу встречным потоком поступает нагретый газ. В данной же части аппарата подсушенное вещество интенсивно досушивается в так называемом «кипящем слое». «Кипящий слой» представляет собой «псевдожидкость» — взвесь твердых частиц, плывущих в потоках газа, поступающего снизу. Причем псевдожидкость обладает удивительными теплотехническими свойствами — твердые частицы в ней бурно перемешиваются и великолепно переносят тепло, во много раз лучше, чем такой известный проводник тепла, как медь.

Псевдожидкость, смачивающая какую-нибудь деталь со скромной скоростью 1 м/с, осуществляет теплообмен столь же эффективно, как чистый газ, движущийся со сверхзвуковой скоростью.

Псевдосжижение с равным успехом можно использовать как для передачи тепла, так и для передачи холода.

Применение псевдожидкости в печах для высокотемпературного нагрева металла позволяет резко уменьшить расход топлива. Существует традиционная система нагрева — через газообразные продукты сгорания к металлу. А газ скорее можно назвать изолятором, чем проводником тепла: коэффициент, характеризующий его способность передавать тепло, равен 200, в то время, как у жидких металлов или расплавов солей этот коэффициент равен 20 000. Намного эффективнее теплообмен осуществляется в кипящей псевдожидкости: сжигаемый газ первоначально отдает тепло песку, а тот, перемещаясь потоками газа, отдает тепло металлу, хотя песок получает тепло все от того же теплоизолятора — газа, однако суммарная поверхность песчинок огромна и в значительной мере благодаря этому они отбирают у пламени во много раз больше тепла, чем сумела бы отнять нагреваемая заготовка.

### 8.7.1. Тепловые трубы

Среди новых теплообменных систем важное место занимают тепловые трубы. Один из простых вариантов тепловой трубы — это закрытый металлический цилиндр; его внутренние стенки выложены слоем пористого капиллярного материала, пропитанного легкоиспаряющейся жидкостью. Именно с движением этой жидкости связана теплопроводность трубы: на горячем конце жидкость испаряется и отбирает тепло, пары сами перемещаются к холодному концу — это нормальная конвекция; здесь пары конденсируются и отдают тепло; образовавшаяся жидкость по пористому материалу возвращается обратно к горячему концу трубы. Это замкнутый цикл, бесконечный круговорот тепла и массы — никаких движущихся частей, в каком-то смысле машина вечная. Тепловые трубы — непревзойденные проводники тепла, их даже называли сверхпроводниками. Действительно, через тепловую трубу диаметром в сантиметр можно прогнать тепловую мощность порядка 10 киловатт при разности температур на концах трубы (это аналог разности электрических потенциалов напряжения на участке цепи) всего в 5°C; чтобы пропустить эту мощность через медный стержень такого же диаметра, на его концах нужен был бы перепад температур почти в 150 000°C.

Тепловые трубы сейчас получили широкое применение. Их можно встретить в космической технике, в ядерных реакторах, криогенных хирургических инструментах, в системах охлаждения двигателей. В трубах может выполняться механическая работа за счет энергии движущегося теплоносителя. На их основе, например, создаются МГД-генераторы. Теплоносителем в тепловой трубе может быть металл и, если поместить трубу в магнитное поле, то в металле (на концах проводника) наведется электродвижущая сила.

Тепловые трубы могут работать в очень широком диапазоне температур. Все зависит от давления внутри трубы и от применяемого теплоносителя.

### 8.8. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЦЕОЛИТОВЫЕ СИТА

Цеолиты являются кристаллическими водными алюмосиликатами, они относятся к группе каркасных алюмосиликатов. Каркасы цеолитов содержат каналы и сообщающиеся между собой полости, в которых находятся катионы и молекулы воды. Катионы довольно подвижны и обычно могут в той или иной степени обмениваться на другие катионы.

Авт. свид. № 561.233, Н 01 L 21/00. Полирующий состав для обработки, например, полупроводниковых материалов, содержащий кристаллический порошок, окислитель, например, перекись водорода и воду, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности процесса полирования, он дополнительно содержит вещество для катионного обмена, например, азотнокислую медь или углекислый аммонит, а в качестве кристаллического порошка взяты алюмосиликаты, например, цеолиты.

Каркасы цеолитов похожи на пчелиные соты и образуются из цепочек анионитов кремния и алюминия. Из-за своего строения каркас имеет отрицательный электрический заряд и этот заряд компенсируется катионами щелочных или щелочноземельных металлов, находящихся в полостях-сотах. Тип цеолита (диаметр его пор) определяется соотношением кремния и алюминия и типом катионов. Главным образом это вода. Она удаляется при нагревании до 600–800°C, сам каркас при этом не разрушается, он сохраняет первоначальную структуру. Именно поэтому цеолит способен вновь поглощать потерянную воду и другие вещества. Размером пор определяется и размер

частиц, способных в них проникать; цеолиты могут как бы просеивать молекулы, сортировать их по размерам. Кроме того, они используются как адсорбенты, они в 10–100 раз эффективнее, чем все другие осушители и работают при различных температурах. При минус 196°С адсорбционная способность цеолита резко повышается. Они поглощают даже воздух, создавая в сосуде разряжение до  $10^{-8}$  мм рт. ст. Цеолиты используют как ионообменники, не разрушающиеся под действием излучения. В качестве катализаторов устойчивы к действию высоких температур, каталитических ядов, позволяют гибко менять свойства.

Авт. свид. № 550.372, С 07 С 11/00. Способ получения пентонов путем контактирования 1,3 пентадиенов с твердым окисным катализатором при 300–500°С, отличающийся тем, что, с целью повышения выхода целевого продукта, в качестве катализатора используют композицию аморфного алюмосиликата с силлиманитом.

Размер ячеек цеолита сохраняется практически постоянным в широком диапазоне температур, так как коэффициент термического расширения полностью гидратированного цеолита близок к коэффициенту терморасширения кварца: соответственно 6,91 и 5,21.

### 8.8.1. Цветовые эффекты в цеолитах

Чистые цеолиты бесцветны. Если катионы щелочных или щелочноземельных металлов, обычно присутствующие в синтетических цеолитах, обменять на ионы переходных металлов, цеолиты могут приобрести окраску. Если окраска индивидуального иона зависит от того, находится он в гидратизированном или безводном состоянии, окраска цеолита будет меняться со степенью гидратации. Так, бесцветный цеолит А–А окрашивается в глубокий желто-красный цвет, а затем в ярко-канареечный. Такой переход окраски наблюдается при изменении парциального давления воды над цеолитом от 3–10 мм рт. ст. до 5–10 мм рт. ст. Окрашенная в сиреневый цвет никелевая форма цеолита при дегидратации становится светло-зеленой, розовая кобальтовая форма — синей. Способность цеолитов менять цвет в присутствии паров воды используется для определения последней. Цеолиты имеют очень интересные диэлектрические и электропроводные свойства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гейликман Б. Г. Статическая физика фазовых переходов. Т. 1, М.: Наука, 1954.
2. Кондо О. С. Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях. — М.: Мир, 1963.
3. Суми Б. Д., Горюнов Ю. В. Физико-химические основы смачивания и растекания. — М.: Химия, 1976.
4. Велькштейн Ф. Ф. Полупроводники как катализаторы химических реакций. — М.: Знание, 1974 (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Химия», 11).
5. Волькштейн Ф. Ф. Радикало-рекомбинационная люминесценция полупроводников. — М.: Наука, 1976.
6. Адам Н. К. Физика и химия поверхностей. — М., 1947.
7. Пчелин В. А. В мире двух измерений // Химия и жизнь, 1976, № 6. — С. 9–15.
8. Де Грот Св. Термодинамика необратимых процессов. — М., 1956, Физическое металловедение, вып. 2, М.: Мир, 1963.
9. Зайт В. Диффузия в металлах. — М., 1958.
10. Гегузин В. Е. Очерки о диффузиях в кристаллах. — М.: Наука, 1974.
11. Васильев Л. Л., Конев С. В. Теплопроводящие трубки. — Минск: Наука и техника, 1972.
12. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. — М.: Мир, 1976.

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

### 9.1. ГИДРОСТАТИКА. ГИДРОАЭРОДИНАМИКА

#### 9.1.1. Закон Архимеда

На всякое тело, погруженное в жидкость (или газ), действует со стороны жидкости (или газа) подъемная сила, направленная вверх и приложенная к центру тяжести погруженного тела. Величина этой силы равна весу вытесненной жидкости. В этой формулировке, хотя и в не очень явной форме, предполагается наличие тяготения, т. к. существование выталкивающей силы обусловлено разностью статических давлений в жидкости (или газе) на элементы нижней и верхней поверхности тела.

Авт. свид. № 307.584, Е 02 В 1/00. Способ сооружения каналов оросительных систем из сборных элементов, отличающийся тем, что, с целью упрощения транспортировки изделий после монтажа начального участка канала, его торцы закрывают временными диафрагмами, готовый участок канала затопляют водой, и последующие элементы, также закрытые с торца временными диафрагмами, сплавляют по этому участку канала.

Если вес тела равен весу вытесненной жидкости, то тело будет находиться в жидкости как бы в состоянии невесомости, за исключением того, что деформации, вызванные наличием поля тяготения и давлением жидкости, сохраняются.

Авт. свид. №254.720, В 22 С 9/02. Способ изготовления линейных ферм из жидких самотвердеющих смесей, включающий применение полей модели, выполненной из эластичного материала, заполняемой рабочим телом с последующим его удалением из модели после окончания процесса формообразования, отличающийся тем, что, с целью получения отливок заданных размеров, полость мо-

дели заполняется рабочим телом с удельным весом, равным удельному весу формовочной смеси в жидком состоянии.

Авт. свид. № 445.760, Е 04 В 21/02. 1. Полый клапан в виде свободного шара, отличающийся тем, что, с целью уменьшения сопротивления потоку, он выполнен по весу, равным вытесненной жидкости.

2. Клапан по п. 1, отличающийся тем, что, с целью расширения диапазона применения, его полость заполнена наполнителем.

Сила Архимеда может не только компенсировать вес тела, но и перемещать тело в вертикальном направлении, если происходит изменение плотности последнего.

Авт. свид. № 223.967, Н 05 В 30/17. Сварочный механизм, содержащий поворотный стол с захватами и устройством для поворота, отличающийся тем, что, с целью упрощения конструкции, устройство для поворота стола выполнено в виде неплавкого механизма, шарнирно соединенного с поворотным столом.

Если жидкость имеет различный удельный вес по высоте, то подъемная сила будет изменяться в соответствии с изменением ее удельного веса.

Авт. свид. № 332.989, В 23 К 37/04. Манипулятор, содержащий стол с устройством для его поворота, выполненным в виде металлического корпуса, наполненного жидкой средой, в которой размещен поплавков, отличающийся тем, что, с целью обеспечения возможности изменения подъемной силы поплавок, жидкая среда состоит из жидкостей с различными удельными весами.

Силу Архимеда можно изменить путем изменения силового воздействия поля на жидкость, восприимчивую к этому полю. Коллоидный раствор ферромагнитного вещества очень хорошо взаимодействует с магнитным полем, поэтому в этом случае получается хорошо управляемая система.

Авт. свид. № 527.280, В 23 К 37/04. Манипулятор для сварочных работ, содержащий поворотный стол и узел поворота стола, выполненный в виде поплавкового механизма, шарнирно соединенного через кронштейн со столом и помещенного в емкость с жидкостью, отличающийся тем, что, с целью увеличения скорости перемещения стола, в жидкость введена ферромагнитная взвесь, а емкость с жидкостью помещена в электромагнитную обмотку.

Измеряя силу Архимеда в магнитных жидкостях, можно измерить величину самого магнитного поля (авт. свид. № 373.669).



### 9.1.2. Закон Паскаля

Давление, производимое внешними силами на поверхность жидкости или газа, передается по всем направлениям без изменений. Такая передача давления происходит вследствие возможности молекул жидкости или газа свободно перемещаться относительно друг друга. Напомним, что это движение полностью хаотично и, следовательно, в отсутствие силы тяжести или в состоянии невесомости давление во всех точках жидкости согласно закону Паскаля будет одинаковым. Собственно поэтому и «не работает» закон Архимеда в этих условиях. На основе закона Паскаля работают гидравлические прессы и подъемники, некоторые вакуумметры и различного рода гидро- и пневмосилители.

### 9.1.3. Явление объемной релаксации

Установлено явление объемной релаксации гексагонально-клататных структур воды под действием внешних факторов, заключающееся в обратимом превращении гексагональной структуры воды в клатарную. Превращение сопровождается изменением молекулярного веса, состава, объема, размеров внутренних полостей ассоциата воды, его геометрических, термодинамических и энергетических параметров с использованием физико-химических свойств воды (открытие № 74, О. М. Розенталь, В. К. Кондрашов, Ю. А. Рахманин, Л. Ф. Кардашина). Установленное явление использовано для разработки новой технологии утилизации твердых осадков на очистных сооружениях, приготовления пленок, гелей, гидродисперсий из порошков, подготовки водно-оксидных суспензий для защиты металлов от вредных — термических и химических — воздействий и др.

## 9.2. ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

### 9.2.1. Ламинарность и турбулентность

Упорядоченное движение вязкой жидкости (или газа) без междуслойного перемешивания называется ламинарным течением. При увеличении скорости потока возникающие в жидкости (или газе) случайные возмущения

приводят к образованию хаотического турбулентного движения, при котором частицы жидкости (или газа) совершают неустановившиеся беспорядочные движения по сложным траекториям, в результате чего происходит интенсивное перемешивание жидкости (или газа). При ламинарном течении жидкости или газа передача импульса от слоя к слою происходит за счет молекулярного механизма (вязкости), поэтому скорость потока жидкости (или газа) в трубе плавно убывает от центра к стенкам. При турбулентном потоке скорость почти постоянна по сечению трубы, резко убывая на самой границе жидкости (или газа) со стенкой трубы.

Авт. свид. № 523.277, G 01 B 13/22. Способ контроля шероховатости с помощью сопла, самоустанавливающегося по контролируемой поверхности, отличающийся тем, что, с целью повышения чувствительности и точности контроля, сначала создают ламинарный режим течения в зазоре, а затем фиксируют положение сопла и увеличивают расход газа или жидкости до достижения турбулентного режима течения.

### 9.2.2. Закон Бернулли

Для ламинарного режима течения справедлив закон Бернулли, согласно которому полное давление в установившемся потоке жидкости остается постоянным вдоль этого потока. Полное давление состоит из весового, статического и динамического давления. Из закона Бернулли следует, что при уменьшении сечения потока из-за возрастания скорости, т. е. динамического давления, статическое давление падает. Закон Бернулли справедлив и для ламинарного потока газов. Явление понижения давления при увеличении скорости потока лежит в основе работы различного рода расходомеров, водо- и пароструйных насосов. Отметим, что закон Бернулли справедлив в чистом виде только для жидкостей, вязкость которых равна нулю, т. е. таких жидкостей, которые не прилипают к поверхности трубы. На самом деле экспериментально установлено, что скорость жидкости на поверхности твердого тела всегда в точности равна нулю. Именно поэтому на поверхности тел, находящихся в потоке жидкости, всегда образуются какие-то наросты, осаджения; этим же объясняется и тот факт, что на лопастях крутящегося вентилятора всегда появляется слой пыли.

**Патент США № 3.811.323.** В измерителе потока жидкости турбулентного типа отсутствие осевого давления на подшипники ротора достигнуто увеличением эффективной площади сечения потока на участке, расположенном ниже ротора по течению потока, что обеспечивает возникновение эффекта Бернулли, под влиянием чего на ротор воздействует усилие на участке, расположенном относительно ротора ниже по течению потока.

**Авт. свид. № 437.846, С 04 L 1/00.** Способ определения производительности центробежного вентилятора с осевым направляющим аппаратом по перепаду статических давлений в двух сечениях, расположенных до и после направляющего аппарата, **отличающийся** тем, что, с целью повышения точности измерения и обеспечения возможности определения производительности при произвольном угле поворота лопаток направляющего аппарата, последние устанавливают на угол, равный нулю, и замеряют статическое давление в вентиляционном канале перед направляющим аппаратом и позади его в самом узком сечении выходного патрубка, затем лопатки устанавливают на заданный угол поворота и определяют статическое давление и сечение перед направляющим аппаратом, после чего производительность подсчитывают по зависимости, полученной на основании уравнений Бернулли и неразрывности потока.

### 9.2.3. Вязкость

Вязкость — это свойство жидкости и газов, характеризующее сопротивление их течению под действием внешних сил. Вязкость объясняется движением и взаимодействием молекул. В газах расстояние между молекулами существенно больше радиуса действия молекулярных сил, поэтому вязкость газа определяется главным образом молекулярным движением. Между движущимися относительно друг друга слоями газа происходит постоянный обмен молекулами, обусловленный их непрерывным хаотическим (тепловым) движением. Переход молекул из одного слоя в соседний, движущийся с иной скоростью, приводит к переносу от слоя к слою определенного количества движения. В результате медленные слои ускоряются, а более быстрые замедляются. В жидкостях, где расстояние между молекулами много меньше чем в газах, вязкость обусловлена, в первую очередь, межмолекулярным взаимодействием, ограничивающим по-

движность молекул. В жидкости молекула может проникнуть в соседний слой лишь при образовании в нем полости, достаточной для перекачивания туда молекулы. На образование полости расходуется энергия активации вязкого течения. Энергия активации падает с ростом температуры и понижением давления. По вязкости во многих случаях судят о готовности или качестве продукта, поскольку вязкость тесно связана со структурой вещества и отражает физико-химические изменения материала, которые происходят во время технологических процессов.

#### 9.2.4. Вязкоэлектрический эффект

Протекание полярной непроводящей жидкости между обкладками конденсатора сопровождается некоторым увеличением вязкости, мгновенно исчезающим при снятии поля. Это явление в чистых жидкостях получило название вязкоэлектрического эффекта. Установлено, что эффект возникает только в поперечных полях и отсутствует в продольных. Вязкость полярных жидкостей возрастает с увеличением напряженности поля вначале пропорционально квадрату напряженности, а затем приближается к некоторому постоянному предельному значению (вязкость насыщения), зависящему от проводимости жидкости. Увеличение проводимости приводит к увеличению вязкости насыщения. На эффект оказывает влияние частота поля. Вначале с повышением частоты вязкоэлектрический эффект увеличивается до определенного предела, затем вырождается до нуля. Увеличение вязкости под действием электрического поля происходит за счет того, что в жидкости могут находиться или возникать под действием поля свободные ионы. Они становятся центрами ориентации полярных молекул, т. е. источниками заряженных групп, для которых в электрическом поле возможно движение типа электрофореза. Количество движения, таким образом, переносится от слоя к слою поперек потока. Другая возможность образования групп — ориентация полярных молекул, имеющих постоянный дипольный момент. Молекулы следят за электрическим полем, ориентируясь поперек потока; для преодоления дополнительного сопротивления нужны затраты

### 9.3. ЯВЛЕНИЕ СВЕРХТЕКУЧЕСТИ

Особыми вязкостными свойствами обладает жидкий гелий, который при понижении температуры испытывает фазовый переход второго рода, превращаясь в сверхтекучую модификацию гелия He-II. Причем в He-II превращается не весь гелий, а только часть. При температуре  $\beta$ -перехода ( $T = 2,17$  К) гелий можно представить себе состоящим из двух компонент — нормальный, свойства которого аналогичны свойствам гелия до перехода (He-I) и сверхтекучий, вязкость которого чрезвычайно мала (меньше  $10^{-11}$ ). Компоненты могут двигаться независимо друг от друга, причем движение сверхтекучей компоненты не связано с переносом тепла (ее энтропия равна нулю). Низкая вязкость гелия позволяет использовать его в качестве смазки, например, в подшипниках. Свойства сверхтекучей компоненты легко проникать в малейшую щель делает He-II удобным для поисков течи: погружение в He-II — самая строгая проверка на герметичность. Малая ширина  $\beta$ -перехода ( $10^{-8}$  К) позволяет использовать его как опорную точку при измерении температуры.

#### 9.3.1. Сверхтеплопроводность

Благодаря встречному конвекционному движению двух компонент теплопередача в He-II происходит без переноса массы, в результате чего теплопроводность He-II чрезвычайно высока. Проявляется это, например, в прекращении кипения после  $\beta$ -перехода — теплопроводность настолько высока, что пузырьки газа образовываться не могут и испарение происходит с поверхности. Благодаря сверхвысокой теплопроводности He-II может служить хорошим хладагентом для охлаждения. Для различных целей физики низких температур часто требуются тепловые ключи — устройства, теплопроводность которых можно менять по своему усмотрению. Одной из возможных реализаций теплового ключа является трубка, наполненная гелием, который мы, меняя давление, можем переводить из сверхтекучего состояния в нормальное и обратно.

#### 9.3.2. Термомеханический эффект

Если нагреть He-II в одном из сосудов, сообщающихся между собой через тонкий капилляр или пористую перегородку, то в нем за счет перехода появится концентрация

сверхтекучей компоненты. Так как сверхтекучая компонента, стремясь к установлению равновесия, будет по капилляру поступать из ненагретого сосуда, а нормальная компонента из нагретого выходить не будет, уровень гелия в нагретом сосуде увеличится. Этот эффект может быть использован для создания своеобразных насосов He-II.

### 9.3.3. Механокалорический эффект

Если повысить давление в одном из сосудов, рассматриваемых в предыдущем пункте, заполненных He, находящемся в сверхтекучем состоянии, то сквозь капилляр будет протекать только сверхтекучая компонента. Сверхтекучая компонента теплоту из сосуда, из которого она вытекает, не выносит, вследствие чего температура внутри этого сосуда будет повышаться. Температура же сосуда, в которой притекает сверхтекучая компонента, будет уменьшаться. На основе этого эффекта П. Л. Капицей был построен охладитель. Одна ступень охладителя давала перепад температур 0,4 К. Достоинствами метода является то, что его хладопроизводительность не уменьшается с понижением температуры. Используя He-II как холодильный агент, возможно в принципе приблизиться сколь угодно близко к температуре абсолютного нуля.

### 9.3.4. Перенос по пленке

Поверхность тела, соприкасающегося с He-II, покрывается пленкой сверхтекучего гелия, по которой может происходить перенос жидкости из одного сосуда в другой. Так, например, пустой стакан, погруженный не до краев в He-II через некоторое время заполнится гелием. Скорость переноса от разности уровней жидкости не зависит и определяется только периметром стенок в самом узком месте соединения. Поскольку такую пленку можно рассматривать как капилляр, то при переносе гелия на пленку имеет место термомеханический и механокалорический эффекты. Можно усилить эффект, увеличив периметр тела, соединяющего два сосуда, например, вставив пучок проводов. Эффект нашел применение для разделения изотопов гелия —  $He_3$  и  $He_4$ .  $He_3$  — несверхтекучий, и по пленке из сосуда, содержащего смесь изотопов, удаляется сам собой только изотоп  $He_4$ . Движение пленки можно остановить, если поместить пленку между обкладками конденсатора, на который подано напряжение с частотой 40–50 Гц.

## 9.4. ЯВЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

### 9.4.1. Эффект Томса

Сопротивление, оказываемое трубопроводом потоку жидкости при ламинарном режиме течения меньше, чем при турбулентном. В 1948 году Б. Томс (Англия) установил, что при добавлении в воду полимерной добавки трение между турбулентным потоком и трубопроводом значительно снижается. Сам Томс работал с полиметилметакрилатом, растворенным в монохлорбензоле; в последующие годы ученые и изобретатели в различных странах нашли много других присадок, работающих еще более эффективно. Практическое применение эффекта Томса весьма разнообразно: по традиции «смазывают» полимерами морские и речные суда, напорные колонны глубоких скважин и т. д. Эффект Томса обуславливается образованием на границе твердое тело—жидкость молекулярных растворов, которые ограничивают турбулентность потока. Установлено, что добавка полимеров более эффективно действует при высоких скоростях потока, где развивающаяся турбулентность потока больше.

Патент США № 3.435.796. В устройстве, уменьшающем сопротивление подводного аппарата, используется слабый раствор полимера, образующий в пограничном слое забортной воды при смешении подогретой жидкой смеси либо гранулированного или порошкообразного полимера с морской водой. Подогретая жидкая смесь представляет собой дисперсию макромолекул полимера, растворимую в морской воде при температуре окружающей среды, но нерастворимую в воде при температуре выше 70°C. Когда подогретая жидкая смесь попадает в холодную воду при соответствующих условиях окружающей среды, микрочастицы набухают и растворяются, образуя клейкую массу. В пограничном слое обтекающего потока они образуют молекулярный раствор макромолекул, препятствуя турбулизации потока.

Авт. свид. № 244.032, F 01 L 1/00. Способ снижения потерь напора при перемещении жидкости по трубопроводу, отличающийся тем, что, с целью достижения жидкостью свойства псевдопластичности, в нее вводят длинноцепочный полимер, например, полиакриламид, в количестве 0,01–0,2% по весу.

Снижение гидродинамического сопротивления может быть достигнуто за счет образования под воздействием

какого-либо поля из молекул самой жидкости присадок, аналогичных по свойствам полимерным молекулам.

Авт. свид. № 364.493, В 63 В 1/34. 1. Способ снижения гидродинамического сопротивления движению тел, например, судов, путем уменьшения сил трения в пограничном слое, отличающийся тем, что, с целью упрощения способа и повышения его эксплуатационной надежности путем исключения подачи в пограничный слой высокомолекулярных составов, в пограничном слое создают электромагнитное поле, генерирующее комплексы молекул.

2. Применение способа по п. 1 для решения внутренней задачи, например, для снижения сопротивления жидкости в трубопроводе.

#### 9.4.2. Скачок уплотнения

Что такое лобовое сопротивление при обтекании твердых тел потоком жидкости или газа — общеизвестно. Однако, кроме лобового сопротивления, при обтекании возникает так называемое волновое сопротивление, являющееся результатом затрат энергии на образование акустической или ударной волны. В газе, например, ударные волны возникают при образовании скачка уплотнения у лобовой поверхности тела при обтекании его сверхзвуковым потоком газа. При образовании скачка уплотнения резко увеличивается плотность, температура, давление и скорость вещества потока; в результате могут иметь место процессы диссоциации и ионизации молекул, сопровождающиеся мощным световым излучением. Световое излучение может сильно разогреть как газ перед фронтом волны, так и поверхность движущегося тела.

#### 9.4.3. Эффект Коанда

Румынский ученый Генри Коанд в 1932 году установил, что можно изменять направление струи воздуха при снижении давления воздуха с одной стороны струи, создавая вихрь в зоне пониженного давления. Аналогично поведение и струи газа. На основе этого эффекта строятся сна из ветвей пневмоники (струйной автоматики).

#### 9.4.4. Эффект воронки

Если уровень жидкости в сосуде с открытой поверхностью понизится до определенного уровня при свободном вытекании жидкости через круглое отверстие в нижней части



сосуда, то на поверхности жидкости образуется водоворот (т. е. вихревое движение воды), который на редкость устойчив и нарушить его трудно.

### 9.5. ЭФФЕКТ МАГНУСА

Если твердый цилиндр вращается вокруг продольной оси в набегающем потоке жидкости или газа, то он увлекает во вращение прилегающие к нему слои жидкости или газа, в результате окружающая среда движется относительно цилиндра не только поступательно, но еще и вращательно вокруг него. В этой зоне, где направление поступательного и вращательного движения совпадают, результирующая скорость движения окружающей среды превосходит скорость потока. С противоположной стороны цилиндра поток, возникающий из-за вращения, противодействует поступательному потоку, и результирующая скорость падает. А из закона Бернулли известно, что в тех местах, где скорость больше, давление понижено, и наоборот. Поэтому с разных сторон на вращающийся цилиндр действуют разные силы. В итоге появляется результирующая сила, которая всегда направлена перпендикулярно образующим цилиндра и потоку.

Естественно, что такая же сила возникает при движении вращающейся сферы в вязкой жидкости или газе (вспомните крученые мячи в футболе, теннисе, волейболе). На основе эффекта Магнуса в свое время был построен корабль с вращающимися цилиндрами вместо парусов. Конечно, эти цилиндры работали в качестве двигателя только при боковом ветре.

В эффекте Магнуса взаимосвязаны направление и скорость потока, направление и величина угловой скорости, направление и величина возникающей силы; соответственно, можно изменить и использовать силу или же изменить поток и угловую скорость.

Патент США № 3.587.327. В устройстве для измерения угловой скорости и индикации направления вращения газовая струя разделяется на две струи, каждая тангенциально касается противоположных сторон диска, неподвижно закрепленного на аксиально вращающемся валу. Вращение диска накладывает на струи разность давлений, величина которых пропорциональна скорости вращения вала. В зависимости от направления вращения вала на ту или другую струю накладывается большее отнесенное давление.

Авт. свид. № 514.616, В 01 D 5/00. Способ разделения неоднородных жидких сред на легкую и тяжелую фракции, предусматривает общее воздействие на поток разделяемой среды центробежного и гравитационного полей, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности, поток разделяемой среды при воздействии на него центробежного и гравитационного полей перемешают в виде ряда, например, параллельных слоев с расстоянием между слоями, меньшими величины диаметра частицы тяжелой фракции, и последовательно вращающими при переходе от одного слоя к другому скоростями, обеспечивающими градиент скорости, направленный перпендикулярно перемещению слоев жидкости и создающий вращение частиц тяжелой фракции вокруг своей оси, и гидродинамическую подъемную силу, например, силу эффекта Магнуса.

## 9.6. ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Дросселирование — расширение жидкости, пара или газа при прохождении через дроссель — местное гидродинамическое сопротивление (сужение трубопровода, вентиль, кран и другие), сопровождающиеся изменением температур. Дросселирование широко применяется для измерения и регулирования расхода жидкостей и газов.

### 9.6.1. Эффект Джоуля—Томсона

Дроссель-эффект заключается в изменении температуры газов при его адиабатическом (без теплообмена с окружающей средой) дросселировании, т. е. протекании через пористую перегородку, диафрагму или вентиль. Эффект называется положительным, если температура газа при адиабатическом дросселировании понижается, и отрицательным, если она повышается. Для каждого реального газа существует точка инверсии — значение температуры, при которой изменяется знак эффекта. Для воздуха и многих других газов точка инверсии лежит выше комнатной температуры и они охлаждаются в процессе эффекта Джоуля—Томпсона. Дросселирование — один из основных процессов, применяемых в технике сжижения газов и получения сверхнизких температур.

Авт. свид. № 257.801, G 01 K 12/05. Способ определения термодинамических величин газов, например, энthalпии, путем термостатирования исходного газа,

дросселирования его с последующим изменением тепла, подведенного к газу, отличающийся тем, что, с целью определения термодинамических величин газов с отрицательным эффектом Джоуля–Томпсона, газ после дросселирования охлаждают до первоначальной температуры, затем нагревают до температуры после дросселя с измерением подведенного к нему тепла и по известным соотношениям определяют искомые величины.

### 9.7. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ УДАРЫ

Быстрое перекрытие трубопровода с движущейся жидкостью вызывает резкое повышение давления, которое распространяется в виде упругой волны сжатия по трубопроводу против течения жидкости. Эта волна несет с собой энергию, полученную за счет кинетической энергии жидкости. Подход волны к какому-нибудь препятствию (изгибу трубопровода, задвижке и т. п.) вызывает явление гидравлического удара. Ослабление гидравлического удара может быть достигнуто или увеличением времени перекрытия, или же включением каких-либо демпферов, поглощающих энергию волны. Для увеличения силы удара целесообразно применять жидкости без неоднородностей и мгновенные перекрытия. Обычно вслед за гидравлическим ударом следует удар кавитационный, возникающий из-за понижения давления за фронтом ударной волны сжатия. Волны сжатия в жидкости возникают также при различного рода взрывных явлениях в движущейся или покоящейся жидкости (глубинные бомбы).

Патент США № 3.118.417. Способ укрепления морского якоря заключается в следующем. Подвижный якорь опускают в воду над тем местом, где он должен быть поставлен. Поток воды через расположенную над якорем колонну поступает в ограниченную полость, где давление меньше давления жидкости в колонне и в окружающей среде. Резко остановленный поток воды передает гидравлический удар на якорь, что обеспечивает введение последнего в грунт.

Авт. свид. № 266.045, F 03 B 7/00. Способ повышения динамической устойчивости энергосистемы при аварии на линии электропередач путем снижения мощности гидротурбины, отличающийся тем, что, с целью уменьшения напора, перед гидротурбиной создают отрицательный гидравлический удар путем отвода части потока, например, в резервуаре.

Авт. свид. № 348.806, H 04 B 19/00. Способ размерной электрохимической обработки с регулированием рабочего за-

вора путем периодического соприкосновения электродов с последующим отводом электрода — инструмента на заданную величину, отличающийся тем, что, для отвода электрода-инструмента используют силу гидравлического удара, возникающего в электролите, подаваемом в рабочий зазор.

### 9.7.1. Электрогидравлический удар

Волну сжатия в жидкости можно вызвать также мощным импульсным электрическим разрядом между электродами, помещенными в жидкость (электрогидравлический эффект Юткина). Чем круче фронт электрического импульса, чем менее сжатая жидкость, тем выше давление в ударе и тем «бризантнее» электрогидравлический удар. Электрогидравлический удар применяется при холодной обработке металлов, при разрушении горных пород, для деэмульсации жидкостей, интенсификации химических реакций и т. д.

Патент США № 3.566.447. Формирование пластичных тел при помощи гидравлического удара высокой энергии. Патентуется гидродинамическая система, в которой столб жидкости, находящийся в баке гидропушки, направляется на заготовку. Для приведения жидкости в движение в указанном столбе жидкости производят электрический заряд, в результате чего генерируется направленная на заготовку волна, которая в сочетании с собственным высоким давлением жидкости осуществляет деформацию заготовки. Скорость струи, направленной на заготовку, составляет от 100 до 10 000 м/с.

В США эффект Юткина применяют для очистки электродов от налипшего на них при электролизе металла. В Польше — для упрочения стальных колец турбогенераторов. При этом стоимость операций, как правило, снижается.

Авт. свид. № 117.562. Способ получения коллоидов металлов и устройство для осуществления при применении высокого напряжения за счет электрогидравлического удара между микрочастицами материала, диспергированного в жидкости.

Ударная волна, возникающая в воде при быстром испарении металлических стружней электрическим током вполне пригодна для разрушения валунов и других хрупких материалов, для разбивки бетонных фундаментов, зачистки скальных оснований гидротехнических сооружений и других работ, связанных с разрушением. Приведенные примеры иллюстрируют применение эффекта.

Ниже даны примеры того, каким способом можно получить или усилить электрогидравлический удар.

В Японском патенте № 13120 (1965) описан способ электрогидравлической формовки ртутно-серебряными электродами. При применении таких электродов сила ударной волны в воде возрастает, так как к давлению плотной плазмы, образующейся в канале разряда, прибавляется давление паров ртути. Применение этого способа позволяет заметно уменьшить емкость конденсаторной батареи.

Авт. свид. № 119.074. Устройство для получения сверхвысоких гидравлических давлений, предназначенное для осуществления способа по авт. свид. № 105.011, выполненное в виде цилиндрической камеры, сообщенной одним концом с трубопроводом, подающим жидкость, а другим — с ресивером, отличающееся тем, что, с целью создания электрогидравлических степеней сжатия, применены искровые промежутки, располагаемые по длине камеры на определенном расстоянии друг от друга.

Авт. свид. № 129.945. Способ получения высоких и сверхвысоких давлений для создания электрогидравлических ударов, отличающийся тем, что высокие и сверхвысокие давления в жидкости получают путем испарения в ней, действием импульсного разряда токопроводящих элементов в виде проволоки, ленты или трубки, замыкающих электроды.

### 9.7.2. Светогидравлический удар

Советские физики (А. М. Прохоров, Г. А. Аскарьян, Г. П. Шапиро) установили, что мощные гидравлические волны можно получить, используя луч квантового генератора (открытие № 65). Если луч мощного квантового генератора пропустить через жидкость, то вся энергия луча поглотится в жидкости, приводя к образованию ударных волн с давлением, достигающим до миллиона атмосфер. Это открытие находит, кроме обычных областей применения гидравлических ударов, очень широкое применение в микроэлектронике для условий особо чистых поверхностей, для обработки таких материалов и изделий, которые исключают применение электродов и т. д. Используя светогидравлический эффект, можно издали, дистанционно, возбуждать в жидкости гидравлические импульсы с помощью луча света.

## 9.8. КАВИТАЦИЯ

Кавитацией называется образование разрывов сплошности жидкости в результате местного понижения давления. Если понижение давления происходит вследствие возникновения из больших местных скоростей в потоке движущейся капельной жидкости, то кавитация называется гидродинамической, а если вследствие прохождения в жидкости акустических волн, то акустической.

### 9.8.1. Гидродинамическая кавитация

Данная кавитация возникает в тех участках потока, где давление понижается до некоторого критического значения. Присутствующие в жидкости пузырьки газа или пара, двигаясь с потоком жидкости и попадая в область давления меньше критического, приобретают способность к неограниченному росту. После перехода в зону пониженного давления рост прекращается, и пузырьки начинают уменьшаться. Если пузырьки содержат достаточно много газа, то при достижении ими минимального радиуса они восстанавливаются и совершают несколько циклов затухающих колебаний, а если мало, то пузырек схлопывается полностью в первом цикле.

Таким образом, вблизи обтекаемого тела создается кавитационная зона, заполненная движущимися пузырьками. Сокращение кавитационного пузырька происходит с большой скоростью и сопровождается звуковым импульсом, тем более сильным, чем меньше газа содержит пузырек. Если степень развития кавитации такова, что возникает и захлопывается множество пузырьков, то явление сопровождается сильным шумом со сплошным спектром от нескольких сотен герц до сотен кГц. Спектр расширяется в область низких частот по мере увеличения максимального радиуса пузырьков.

Если бы жидкость была идеально однородной, а поверхность твердого тела, с которым она граничит, идеально смачиваемой, то разрыв происходил бы при давлении более низком, чем давление насыщенного пара жидкости, при котором жидкость становится нестабильной. Теоретическая прочность воды на разрыв равна  $1500 \text{ кг/см}^2$ . Реальные жидкости менее прочны. Максимальная прочность на разрыв тщательно очищенной воды при  $10^\circ\text{C}$  составляет  $280 \text{ кг/см}^2$ . Обычно же разрыв возникает при

давлении насыщенного пара. Низкая прочность реальных жидкостей связана с наличием в них так называемых кавитационных зародышей — плохо смачиваемых участков твердого тела, твердых частиц, частиц с трещинами, заполненными газом, микроскопических газовых пузырьков, предохраняемых от растворения мономолекулярными органическими оболочками, ионных образований, возникающих под действием космических лучей.

Увеличение скорости потока после начала кавитации влечет за собой быстрое возрастание числа развивающихся пузырьков, вслед за чем происходит их объединение в общую кавитационную каверну и течение переходит в струйное.

Для плохо обтекаемых тел, обладающих острыми кромками, формирование струйного вида кавитации происходит очень быстро. Наличие кавитации неблагоприятно сказывается на работе гидравлических машин, турбин, насосов, судовых гребных винтов и заставляет принимать меры к избежанию кавитации. Если это оказывается невозможным, то в некоторых случаях полезно усилить развитие кавитации, создать так называемый режим «суперкавитации», отличающийся струйным характером обтекания, и, применив специальное профилирование лопастей, обеспечить благоприятные условия работы механизмов. Замыкание кавитационных пузырьков вблизи поверхности обтекаемого тела часто приводит к разрушению поверхности — так называемой кавитационной эрозии. Чтобы избежать захлопывание кавитационных пузырьков, надо подать в область пониженного давления какой-нибудь газ, например, воздух.

Так сделали специалисты Гидропроекта. Они построили на водосбросе Нурекской плотины в области максимальной кавитации искусственный трамплин, создав тем самым большую зону пониженного давления, которую соединили с атмосферой. Теперь кавитация засасывала воздух из атмосферы и сама себя разрушала.

Очень часто используют происходящие при кавитации разрушения для ускорения различных технологических процессов.

Авт. свид. № 443.663, А 23 К 1/12. Способ приготовления грубых кормов, включающий обработку их раствором щелочи, отличающийся тем, что, с целью размягчения и ускорения влагонасыщения корма, обработку его осуществляют в кавитационном режиме.

### 9.8.2. Акустическая кавитация

Акустическая кавитация — это образование и захлопывание полостей в жидкости под воздействием звука. Полости образуются в результате разрыва жидкости во время полупериодов растяжения кавитационных зародышей, а захлопываются во время полупериодов сжатия. Полости заполнены в основном насыщенным паром данной жидкости, поэтому процесс иногда называется паровой кавитацией в отличие от газовой кавитации — интенсивных нелинейных колебаний газовых (обычно воздушных) пузырьков в звуковом поле, существовавших в жидкости до включения звука. Если газовая кавитация может протекать с большей или меньшей интенсивностью при любых значениях амплитуды давления звуковой волны, то паровая лишь при достижении некоторого критического значения амплитуды давления, так называемого кавитационного порога. Величина этого порога — от давления насыщенного пара жидкости до нескольких десятков и даже сотен атмосфер (в зависимости от содержания в жидкости зародышей). Экспериментально установлено, что величина зависит от многих факторов. Порог повышается с ростом гидростатического давления, после обжатия жидкости высоким (порядка  $10^3$  атм) статическим давлением, при обезгаживании и охлаждении жидкости, с ростом частоты звука и с уменьшением продолжительности озвучивания. Порог выше для бегущей, чем для стоячей волны.

При захлопывании сферической полости давление в ней резко возрастает, как при взрыве, что приводит к излучению импульса сжатия. Давление при захлопывании особенно велико при кавитации на низких частотах в обезгаженной жидкости с малым давлением насыщенного пара. Если увеличить содержание газа в жидкости, то диффузия газа в полости усилится, захлопывание полостей станет неполным и подъем давления при захлопывании — небольшим. При содержании газа в жидкости выше 50% от насыщения возникает кавитационное обезгаживание жидкости — образование и всплывание газовых пузырьков и вырождение паровой кавитации в газовую. Если образовавшиеся паровые пузырьки колеблются вблизи границы с твердым телом, около них возникают интенсивные микропотоки. Появление кавитации ограничивает дальнейшее повышение интенсивности звука, излучаемого в жидкость, и снижает волновое сопротивление жидкости, что влечет за собой снижение нагрузки на излучатель.



Акустическая кавитация вызывает ряд эффектов. Часть из них, например, разрушение и диспергирование твердых тел, эмульгирование жидкостей, очистка — объяснены своим происхождением ударам при захлопывании полостей и микропотокам вблизи пузырьков. Другие эффекты (например, кавитация вызывает и ускоряет химические реакции) связаны с ионизацией при образовании полостей. Благодаря этим эффектам акустическая кавитация находит все более широкое применение для создания новых и совершенствования известных технологических процессов. Большинство практических применений ультразвука основано на эффекте кавитации.

В авторском свидетельстве № 200.981 описывается установка, использующая в своей работе явление кавитации. Назначение установки — снятие заусениц с деталей самой различной формы. Деталь помещается в жидкость под высоким давлением, насыщенную мельчайшими абразивными частицами. При возбуждении в жидкости интенсивной акустической кавитации заусеницы отделяются от деталей; вдобавок деталь очищается от стружки и масла не только на открытых поверхностях, но и в глубоких отверстиях.

Авт. свид. № 285.397, В 06 В 1/00. Способ создания кавитации в жидкости путем возбуждения непрерывных колебаний звуковой или ультразвуковой частоты, отличающийся тем, что, с целью повышения эрозионной активности жидкости, возбуждают в полупериоде сжатия дополнительный пиковый импульс сжатия, соответствующий по времени концу фазы расширения или началу фазы захлопывания кавитационных полостей.

Авт. свид. № 409.569. Способ детектирования радиоактивных излучений по их воздействию на протекание акустической кавитации в жидкостях, отличающийся тем, что, с целью увеличения надежности детектирования, в кавитирующее акустическое поле помещают тест-образец, определяют степень его эрозии, по изменению которой судят об интенсивности радиоактивного излучения.

Авт. свид. № 446.757, G 01 F 9/00. Способ получения теплофизической метки, например, для измерения расхода путем воздействия излучением на исследуемый поток, отличающийся тем, что, с целью расширения диапазона измеряемых сред, воздействуют на контролируемый поток ультразвуковым полем с интенсивностью выше порога кавитации, фокусируют звуковые волны в

локальную область, создают кратковременный процесс кавитации и получают теплофизическую неоднородность за счет продуктов кавитации.

### 9.8.3. Сонолюминесценция

В момент схлопывания кавитационных пузырьков наблюдается слабое свечение. Причиной этого явления является нагревание газа в пузырьке, обусловленное высоким давлением при его схлопывании. Вспышка может длиться от  $1/20$  до  $1/1000$  с. Интенсивность света зависит от количества газа в пузырьке: если газ в пузырьке отсутствует, то свечение не возникает. Световое излучение пузырька очень слабое и становится видимым при усилении или в полной темноте.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шлимонис М. И. Магнитные жидкости. — УФН, 1974. Т. 112, вып. 3. С. 427.
2. Френкель Н. З. Гидравлика. — М.-Л., 1956.
3. Чертоусов М. Д. Гидравлика. — М., 1957.
4. Шульман З. П. и др. Электрореологический эффект. — Минск, Наука и техника, 1972.
5. Холостников И. М. Теория сверхтекучести. — М.: Наука, 1977.
6. Роуз А. Техника низкотемпературного эксперимента. — М.: Мир, 1966.
7. Лодж Л. Эластичные жидкости. — М.: Наука, 1969.
8. Дмитриев В. И. Основы пневмоавтоматики. — М.: Машиностроение, 1973.
9. Иванов Ю. Была ли дырка в ванне Архимеда?//Техника молодежи, 1972. С. 40.
10. Альтшуль А. и др. Вихревые воронки//Наука и жизнь, 1968, № 7.
11. Малков М. П. Справочник по физико-химическим основам глубокого охлаждения. — М.-Л., 1963.
12. Жуковский Н. Е. О гидравлическом ударе в водопроводных каналах. — М.-Л., 1949.
13. Мостков М. А. и др. Расчеты гидравлического удара. — М.-Л., 1952.
14. Аронович Г. В. и др. Гидравлический удар и уравнивающие резервуары. — М.: Наука, 1968.
15. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект. — М.: Машгиз, 1955.
16. Родзинский Л. Кавитация против кавитации//Знание — сила, 1977, № 6. — С. 4.
17. Рой Н. А. Возникновение и протекание ультразвуковой кавитации//Акустический журнал, 1957. Т. 3, вып. 1.
18. Пирсол И. Кавитация. — М.: Мир, 1975.
19. Розенталь О. М. О работе льдозарождения в воде//Журнал структурной химии, 1965, № 4.

## КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

### 10.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Колебаниями называются процессы точно или приблизительно повторяющиеся через одинаковые промежутки времени. По своему характеру колебания подразделяются на:

#### 10.1.1. Свободные (или собственные) колебания

— представляют собой колебания, совершаемые системами, предоставленными самим себе, около своего положения равновесия. Для возбуждения собственных колебаний требуется определенное количество энергии. Частота собственных колебаний определяется целиком свойствами самой системы.

Авт. свид. № 245.419, G 01 M 3/00. Способ определения главных центральных осей и моментов инерции геометрической фигуры, имеющей сложные очертания, путем измерения периода колебания пластины, вырезанной из листового материала и подобной по форме заданной фигуре, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, в пластинке просверливают три отверстия, не лежащие на одной прямой, протягивают через два из них нить, натягивают ее горизонтально и измеряют период колебания пластины, затем протягивают нить через вторую пару отверстий и также измеряют период колебаний пластинки, и по измеренным периодам колебаний подсчитывают значения осевых и центробежных моментов инерции относительно центральных осей инерции фигуры.

Свободные колебания из-за непрерывного расхода энергии на преодоление сил трения всегда являются затухающими. Скорость затухания определяется характеристиками среды, в которой происходят колебания.

Авт. свид. № 246.101, G 01 F 23/00. Способ измерения массового расхода жидкостей и газов путем сообщения

колебаний участку трубопровода со средой, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения, участку трубопровода сообщают периодические колебания и измеряют время затухания свободных колебаний участка трубопровода между двумя фиксированными уровнями колебаний, обратно пропорциональное количеству прошедшей за это время среды.

Авт. свид. № 274.276, В 23 К 9/00. Способ измерения давления, воспринимаемого индикатором в виде кварцевой пластины, отличающийся тем, что, с целью повышения чувствительности и надежности измерения, указанную пластинку приводят в резонансное колебание и по изменениям ее импеданса и декремента затухания судят о воспринятых ею давлениях.

### 10.1.2. Вынужденные колебания

Вынужденные колебания совершаются под действием внешней периодической (или почти периодической) силы, например, колебания мембраны, барабанной перепонки уха, ударного элемента отбойных молотков, пластины магнитострикционного преобразования ультразвуковых агрегатов. Частота вынужденных колебаний равна частоте вынужденной силы, а амплитуда колебаний зависит от свойств системы.

Авт. свид. № 560.563, А 01 J 7/00. Способ контроля выдаивания вымени животных при машинном доении, включающий определение степени опорожнения вымени по изменениям физических свойств его с помощью известных устройств, отличающийся тем, что, с целью повышения точности контроля, определение степени опорожнения долей вымени ведут по изменению уровня и частоты акустических колебаний, возникающих в них.

Вынужденные колебания, возбуждаемые в системе внешними силами, часто приводят к интенсификации многих технологических процессов.

Авт. свид. № 460.072, D 05 D 17/06. Способ распыления жидкостей, по которому на распыляемую жидкость накладывают высокочастотные колебания, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности распыления, применяют последовательное наложение колебаний различных частот.

Авт. свид. № 512.893, В 23 Р 1/04. Способ электроэрозионной обработки с подачей в межэлектродный зазор одновременно с рабочей жидкостью нейтрального газа,

отличающийся тем, что, с целью интенсификации процесса, газ вводят в пульсирующем режиме с частотой 0,15–0,2 Гц.

**Патент США № 3.467.331.** Способ разматывания ленты, заключающийся в том, что участок ленты, сматывающийся с падающего рулона, приводят в колебания, под действием которого преодолевается сила сцепления между витками ленты падающего рулона.

Если на сверло наложить в процессе сверления возвратно-поступательные колебания, направленные вдоль его оси, то процесс сверления намного упрощается, так как сверло многократно (с частотой колебания) как бы возвращается в исходное положение, поэтому его не уведит, трение уменьшается, повышается чистота поверхности сверления.

### 10.1.3. Явление резонанса

Особую роль в колебательных процессах играет явление резонанса — резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний, наступающего при приближении частот собственных и вынужденных колебаний системы. Явление резонанса используется для интенсификации различных технологических процессов.

**Авт. свид. № 508.543, С 21 D 9/00.** Способ обработки металлических изделий, включающий нагрев до температуры отпуска с одновременным приложением механической вибрации, отличающийся тем, что, с целью предотвращения образования усталостных трещин и интенсификации процесса снятия внутренних напряжений в сварных изделиях, обработку ведут при местном нагреве зоны сварного шва с одновременной вибрацией всего изделия, осуществляемой в резонансном режиме с частотой, соответствующей частоте при его нагреве.

**Авт. свид. № 261.051, F 02 C 19/06.** Способ измерения массы вещества в резервуаре, например жидкого, отличающийся тем, что, с целью повышения точности и надежности измерения, возбуждают механические резонансные колебания системы резервуар–вещество, измеряют их частоту, по величине которой судят о массе вещества.

### 10.1.4. Автоколебания

Автоколебания — это незатухающие колебания, которые осуществляются в неконсервативной системе при отсутствии переменного внешнего воздействия (за счет внутреннего источника энергии), причем амплитуда и период этих колебаний определяются свойствами самой системы.

Классический пример автоколебательной системы — маятниковые часы. Как правило, автоколебательные системы склонны к самовозбуждению.

Авт. свид. № 267.993, G 01 L 49/00. Способ определения сроков схватывания бетонной смеси по изменению колебаний натянутой струны, помещенной в исследуемую смесь, отличающийся тем, что, с целью автоматизации процесса определения, возбуждают в струне электромагнитные колебания и измеряют интервал времени от момента затвердения смеси до момента самовозбуждения струны.

## 10.2. АКУСТИКА

Одним из широко известных колебательных движений являются звукопродольные колебания частичек среды, в которой распространяется звуковая волна.

Акустические (звуковые) колебания, как механические колебания, часто используют для интенсификации различных технологических процессов.

Авт. свид. № 442.287, E 21 B 43/18. Способ разработки газогидратной залежи путем превращения газа из твердого (газогидратного) состояния в газообразное в пласте, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности разработки залежи, пласт подвергают воздействию упругих колебаний звукового диапазона.

Авт. свид. № 500.817, B 08 B 3/10. Способ очистки изделий в жидкости, например материалов типа лент, при котором на изделие воздействуют движущимися относительно него механическими очистными средствами, преимущественно щетками и акустическим полем, отличающийся тем, что, с целью интенсификации процесса очистки и снижения его энергоемкости, акустическое и механическое воздействие на изделие совмещают, для этого механические средства очистки располагают в акустическом поле.

Авт. свид. № 553.419, F 25 B 29/00. Способ сушки термочувствительных материалов, например, микробных препаратов, путем их предварительного нагрева во взвешенном состоянии, отлежки и последующего охлаждения, отличающийся тем, что, с целью интенсификации и повышения качества сушки, охлаждение материала ведут в среде псевдосжиженного сорбента под воздействием звукового поля.

Акустические колебания различной частоты по-разному воздействуют на животных. На основе этого в США (Патент № 1.3.557.899) разработаны устройство и способ,

предназначенные для разгона животных. С этой целью мозг животных подвергается действию раздражающих колебаний со спектром, лежащим в звуковом диапазоне частот, представляющий собой совокупность многочисленных колебаний, успокаивающих мозг животных. Раздражающие колебания действуют на мозг животного одновременно с успокаивающими колебаниями.

Характер звуковых колебаний зависит от свойства источника звука, поэтому, измеряя различные характеристики звуковых колебаний, можно установить характеристики источника звука.

**Авт. свид. № 257.064, G 01 H 1/00.** Способ определения расовой принадлежности пчел, отличающийся тем, что, с целью определения расы на живых пчелах, сокращение затрат времени и труда и получение более точных данных, расовую принадлежность определяют по спектральной характеристике издаваемых пчелами звуков, которую сравнивают со стандартными спектрами, полученными на пчелах заведомо чистых рас.

А зная характеристики звуковой волны, можно по ее изменению при прохождении различных сред установить параметры среды.

В США разработан автоматический прибор, сортирующий при помощи звука яблоки, так как установлено, что зрелые, незрелые и перезрелые яблоки оказывают различное сопротивление проходящим сквозь них звуковым волнам разных частот.

### **10.2.1. Явление реверберации**

При подходе к преграде акустические волны отражаются (эхо). Поэтому, если в закрытом помещении включить и сразу выключить источник звука, то возникает явление реверберации, т. е. послезвучание, обусловленное приходом в определенную точку запоздавших отраженных или рассеянных звуковых волн.

Измеряя время реверберации (время, в течение которого интенсивность звука уменьшается в  $10^6$  раз), можно определить объем свободного помещения.

**Авт. свид. № 346.588, G 01 F 17/00.** Акустический способ определения количества вещества в замкнутом сосуде, отличающийся тем, что, с целью упрощения, в свободном пространстве сосуда создают акустический импульс и измеряют время реверберации, по которому судят о количестве вещества.

### 10.3. УЛЬТРАЗВУК

Ультразвук — продольные колебания в газах, жидкостях и твердых телах в диапазоне частот  $20 \cdot 10^3$  Гц. Применение ультразвука связано, в основном, с двумя его характерными особенностями: лучевым распространением и большой плотностью энергии.

Из-за малой длины волны распространение ультразвуковых волн связано с сопровождающимися эффектами:

а) с отражением:

Патент США № 3.554.030. Описан расходомер, используемый для измерения и регистрации величины объемного расхода крови. Измерения производятся при помощи ультразвукового преобразователя, который применяется как для излучения, так и приема ультразвуковых волн. Отраженные сигналы, принимаемые преобразователем, позволяют определить размер поперечного сечения кровеносного сосуда, а также скорость движения крови в сосуде. Измеренные параметры дают возможность получить расчетным путем величину объемного расхода крови.

б) с фокусировкой:

Авт. свид. № 183.574, В 23 К 34/00. Способ газовой сварки и резки, заключающийся в использовании тепла пламени горючей смеси, отличающийся тем, что, с целью повышения производительности процесса, в газовую горючую смесь вводят ультразвуковые колебания, фокусируемые в зоне сварного шва или реза.

в) с образованием теней (ультразвуковая дефектоскопия).

Большая частота ультразвука позволяет сравнительно легко создавать ультразвуковые пучки с большой плотностью энергии, распространение которых в жидких и твердых телах сопровождается рядом эффектов, часто приводящих к необратимым явлениям. Эти эффекты — радиационное давление (избыточное давление, испытываемое препятствием вследствие воздействия на него ультразвуковой волны и определяемое импульсом, передаваемом волной в единицу времени единице поверхности препятствия), акустическая кавитация и акустические потоки, носящие вихревой характер и возникающие в свободном неоднородном поле и вблизи препятствий, находящихся в ультразвуковом



### 10.3.1. Пластическая деформация и упрочнение

Воздействие ультразвука на процесс пластической деформации обусловлено влиянием его на контактные условия, свойства и структуру деформируемого металла. В этом случае возможны два нелинейных эффекта: «акустическое разупрочнение» и «акустическое упрочнение». Первый наблюдается в процессе воздействия интенсивным ультразвуком и заключается в уменьшении статического напряжения, необходимого для осуществления пластической деформации.

Акустическое упрочнение металлов достигается после воздействия ультразвуковых волн достаточно высокой интенсивности. Акустическое разупрочнение является результатом активизации дислокаций, происходящей в результате поглощения акустической энергии в местах дефектов кристаллической решетки и других структурных несовершенств. Благодаря этому за малое время происходит локальный нагрев вокруг этих источников поглощения, снятия напряжений, разблокировки дислокаций, увеличение их подвижности, что обеспечивает более интенсивный ход пластической деформации.

Авт. свид. № 436.750, В 29 С 17/00. Способ разработки полых изделий из пластических масс путем двустороннего обжатия роликами стенки изделия при его вращении, отличающийся тем, что, с целью повышения производительности процесса, область контакта стенки изделия с роликами подвергают воздействию ультразвуковых колебаний.

Если валики прокатного стана колебать в направлении, параллельном осям их вращения, ультразвуковой частотой, то усилие деформации снижается в 1,5–2 раза, а степень деформации увеличивается на 20–50%, причем контактное трение резко снижается.

При достижении определенного уровня акустической энергии, зависящего от свойств облучаемого металла, последний может пластически деформироваться при комнатной температуре без приложения внешней нагрузки.

### 10.3.2. Влияние ультразвука на физико-химические свойства металлических сплавов

Под действием ультразвука изменяются основные физико-химические свойства расплавов: вязкость, поверхностное натяжение на границе «расплав–форма» или «расплав–твердая фаза», температура и диффузия.

### 10.3.2.1. ВЯЗКОСТЬ

После ультразвуковой обработки расплава вязкость уменьшается на 10–15%, причем характер изменения вязкости не позволяет считать, что уменьшение вязкости вызывается только тепловым воздействием ультразвука, поскольку наряду с тепловым воздействием наблюдаются и другие эффекты, например, изменение трения между твердыми нерастворимыми примесями, находящимися в расплаве.

### 10.3.2.2. ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

Воздействие ультразвука на расплав в процессе кристаллизации уменьшает поверхностное натяжение между расплавом и кристаллами при двухфазном состоянии, за счет чего уменьшается переохлаждение расплавов и увеличивается количество кристаллических зародышей, а структура расплава получается более мелкозернистой.

### 10.3.2.3. ТЕМПЕРАТУРА

Ультразвуковая обработка металлов в жидком состоянии и во время кристаллизации приводит к изменению характера температурного поля. Возникновение акустических потоков в расплаве под действием ультразвука связано с потерей энергии в расплаве. Эти потери зависят от интенсивности ультразвука и акустических свойств среды. Акустические потоки вызывают интенсивное перемешивание расплава, выравнивание температуры и интенсификацию конвективной диффузии. При выравнивании температуры расплава увеличивается теплообмен со стенками и окружающей средой, в результате чего увеличивается скорость охлаждения.

Физическая сущность влияния ультразвука на теплообмен при естественной или вынужденной конвекции заключается в проникновении акустических потоков в пограничный и ламинарный подслои, что приводит к деформации этих слоев, их турбулизации и перемешиванию.

В результате этого в несколько раз увеличивается коэффициент теплопередачи и скорость теплообмена.

### 10.3.2.4. ДИФФУЗИЯ

Ультразвук ускоряет диффузионные процессы в металлических расплавах и на границе с твердой фазой. В этом случае под действием ультразвука происходит более

легкое перемещение атомов из одного устойчивого состояния в другое благодаря образованию кавитационных пузырьков. При этом необходимо учитывать влияние вторичных эффектов акустических потоков, повышение температуры, акустического давления, вызывающих турбулентное перемещение и разрушение пограничного слоя между жидкой и твердой фазой при ускорении диффузии на границе жидкость—твердое тело.

#### 10.3.2.5. ДЕГАЗАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ

Под действием ультразвука растворенный газ сначала выделяется в виде пузырьков в зонах разряжения ультразвуковых волн, после чего пузырьки соединяются и при достижении достаточно большого размера всплывают на поверхность. Эффект можно объяснить следующим образом. При воздействии ультразвука в расплаве возникает кавитация: в образованные кавитационные пустоты проникает растворенный газ. При захлопывании кавитационных пузырей этот газ не успевает снова раствориться в металле и образует газовые пузырьки. Зародыши газовых пузырьков образуются и в полупериод разряжения при распространении упругих ультразвуковых колебаний в расплаве, т. к. при уменьшении давления растворимость газов уменьшается. После этого газовые пузырьки под влиянием колебательных движений коагулируют и, достигая определенных размеров, всплывают. Ускорение диффузии под действием ультразвука также может способствовать нарастанию газовых пузырьков.

#### 10.3.3. Ультразвуковой капиллярный эффект (открытие № 109)

Явление капиллярности заключается в том, что при помещении в жидкость капилляра, смачиваемого жидкостью, в нем под действием сил поверхностного натяжения происходит подъем жидкости на некоторую высоту. Если жидкость в капилляре совершает колебания под влиянием источника ультразвука, то капиллярный эффект резко возрастает, высота столба жидкости увеличивается в несколько десятков раз, значительно возрастает и скорость подъема.

Экспериментально доказано, что в этом случае жидкость толкает вверх не радиационное давление и капиллярные силы, а стоячие ультразвуковые волны. Ультра-

звук снова и снова как бы сжимает столб жидкости и поднимает его вверх. Открытый эффект уже очень широко используется в промышленности, например, при пропитке изоляционными составами обмоток электродвигателей, окраска тканей, в тепловых трубах и т. п.

Авт. свид. № 437.568, В 22 F 326. Способ пропитки капиллярных пористых тел жидкостью и расплавами, например, полимерным связующим, с применением ультразвуковых колебаний, отличающийся тем, что, с целью интенсификации процесса пропитки, ультразвуковые колебания сообщают пропитываемому телу. Действие ультразвука на жидкость базируется на использовании вторичных эффектов кавитации — высоких локальных давлений и температуры, образующихся при схлопывании кавитационных пузырьков.

#### 10.3.4. Акустоманетозлектрический эффект

Звук способен сортировать не только яблоки, но и электроны. Если поперек направления распространения звука в проводящей среде наложить магнитное поле, то электроны, которые увлекаются звуком, будут отклоняться в этом поле, что приводит к возникновению поперечного тока или, если образец «разомкнуть» в поперечном направлении, электродвижущей силы (ЭДС). Но магнитное поле в соответствии с законом Лоренца отклоняет электроны разных скоростей по-разному, поэтому величина и даже знак ЭДС показывают, какие электроны увлекаются звуком, т. е. каковы свойства электронного газа в данной среде. В каждом веществе звук увлекает за собой группу электронов, характерных именно для данного вещества. Если звук проходит через границу двух веществ, то одни электроны должны смениться другими, например, более «холодные» более «горячими». При этом от границы будет уноситься тепло, а сама граница охлаждается. Данный эффект похож на известный эффект Пельтье. Однако принципиальное отличие этого эффекта от эффекта Пельтье состоит в том, что он не исчезает даже при очень низких температурах и охлаждение может продолжаться до температур, близких к абсолютному нулю. Это открытие зарегистрировано под № 133 в следующей формулировке: «Установлено неизвестное ранее явление возникновения в телах, проводящих ток, помещенных в магнитное поле, при прохождении через них звука,

электродвижущей силы поперек направления распространения звука, обусловленной взаимодействием со звуковой волной носителей заряда, находящихся в различных энергетических состояниях». На основе открытия уже сделан ряд изобретений.

**Авт. свид. № 512.422, G 01 N 29/00.** Способ измерения времени релаксации энергии носителей заряда в кристалле, заключающийся в измерении проводимости и разности потенциалов на исследуемом образце, отличающийся тем, что, с целью упрощения и повышения точности измерения, в образец вводят ультразвуковую волну, измеряют разность потенциалов в направлении распространения волны и проводимость в перпендикулярном направлении.

**Авт. свид. № 543.140, H 03 F 21/00.** Способ усиления поверхностных звуковых волн в пьезоэлектрическом полупроводнике, основанный на взаимодействии звуковых волн с электрическим полем, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности усиления, дрейфовое напряжение прикладывают в направлении, перпендикулярном распространению поверхностной звуковой волны.

#### **10.3.5. Неразрушающий ультразвуковой контроль материалов и изделий**

Для неразрушающего ультразвукового контроля материалов и изделий разработано много изобретений, например:

1) Патент РФ № 2.060.493, G 01 N 29/04. Способ ультразвукового контроля головки рельса.

2) Авт. свид. № 1.525.568, G 01 N 29/04. Ультразвуковой зеркально-теневой дефектоскоп.

3) Авт. свид. № 1.049.798, G 01 N 29/04. Способ зеркально-теневого ультразвукового контроля деталей равного сечения.

4) Авт. свид. № 1.497.561, G 01 N 29/04. Способ зеркально-теневого ультразвукового контроля изделий равного сечения и др.

### **10.4. ВОЛНОВОЕ ДВИЖЕНИЕ**

Волна — это возмущение, распространяющееся с конечной скоростью в пространстве и несущее с собой энергию. Суть волнового движения состоит в переносе энергии без переноса вещества. Любое возмущение связано с каким-то направлением (вектор электрического поля в электромагнитной волне, направление колебаний частиц при звуковых волнах, градиент концентрации, градиент

потенциала и т. д.). По взаимоположению вектора возмущения и вектора скорости волны волны подразделяются на продольные (направление вектора возмущения совпадает с направлением вектора скорости) и поперечные (вектор возмущения перпендикулярен вектору скорости). В жидкостях и газах возможны только продольные волны, в твердых телах — и продольные, и поперечные.

Волна несет с собой и потенциальную, и кинетическую энергию. Скорость волны, т. е. скорость распространения возмущения, зависит как от вида волны, так и от характеристик среды, например, от прочности бетона при затвердевании. Измеряя скорость распространения ультразвука, можно определить, какую прочность набрал бетон в процессе выпаривания («Знание — сила», № 11, 1969).

В Японии предложено пропускать ультразвук через стальные изделия перпендикулярно тем поверхностям, расстояние между которыми необходимо измерить. Стальные изделия помещались в жидкостную ванну, которая просвечивалась ультразвуковыми импульсами. Измерив время, необходимое для прохождения импульса от каждого вибратора, определяли внешние размеры изделия (патент Японии № 51-23193).

При наличии дисперсии волны понятие скорости волны становится неоднозначным, приходится различать фазовую скорость (скорость распространения определенной фазы волны) и групповую скорость, являющуюся скоростью энергии, что усложняет различные измерительные работы с помощью различного вида колебаний. В случае же когерентного колебания фазовая скорость может нести информацию о свойствах среды.

Авт. свид. № 412.421, F 16 J 15/00. Способ измерения скорости ультразвука в средах, основанный на определении времени распространения колебаний с помощью фазового сдвига, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения, модулируют колебания по фазе и одновременно пропускают через исследуемую и эталонную среду, измеряя на границах обеих сред относительную величину фазы колебаний, и по результатам измерения находят скорость ультразвука в исследуемой среде.

#### 10.4.1. Стоячие волны

При наличии каких-либо неоднородностей в среде имеют место явления преломления и отражения волн. Если возбуждаемые в среде волны отражаются от каких-то

границ (препятствий), то при определенном сдвиге фаз в результате наложения прямой и отраженной волны может возникнуть стоячая волна с характерным расположением максимумов и минимумов возмущения (узлов и пучностей). При наличии стоячей волны переноса энергии через узлы нет, и в каждом участке между двумя узлами наблюдается лишь взаимопревращения кинетической и потенциальной энергии.

**Авт. свид. № 337.712, G 01 N 29/00.** Способ определения модуля упругости бетона путем ультразвукового прозвучивания образца, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, фиксируют частоту ультразвуковых колебаний при возникновении стоячей волны и по ней судят о модуле упругости бетона.

**Авт. свид. № 488.170. G 01 K 35/10.** Способ испытания кабельных изделий на вибростойкость путем создания колебаний в закрепленном по концам образца, находящемся под натяжением, отличающийся тем, что, с целью повышения надежности испытаний кабель-буксирных комплектаций, на образце кабеля закрепляют соединитель, идентичный по весу, размерам и элементам фиксации муфте изделия, концы закрепляют шарнирно, возбуждают в нем стоячие волны, а соединитель размещают в узле стоячей волны.

#### 10.4.2. Эффект Доплера—Физо

Если регистрировать колебания в точке, расположенной на каком-либо расстоянии от источника колебаний и неподвижной относительно него, то частота регистрируемых колебаний будет равна частоте колебаний источника. Если же источник и приемник приближаются друг к другу, то частота регистрируемых колебаний будет выше частоты колебаний источника.

При взаимном удалении приемника и источника приемник будет регистрировать понижение частоты колебаний. При этом изменение частоты зависит от скорости взаимного движения источника и приемника. Этот эффект был впервые открыт Доплером в акустике, позже его независимо открыл Физо и рассмотрел его в случае световых колебаний.

На основе этого эффекта создан прибор для измерения скорости супертанкеров при швартовых операциях, естественно, длина волны использована малая (микроволно-

вый сигнал). Очевидно, подобный прибор может быть использован и во многих других областях техники.

**Патент США № 3.564.488.** Прибор для измерения скорости движущихся объектов, например, для измерения скорости движения тела по рельсам. По одному из рельсов посылаются ультразвуковые волны. В приборе имеется пьезоэлектрический преобразователь, который служит для обнаружения доплеровской частоты в отраженном сигнале, исходящем от точки, расположенной вблизи места контакта движущегося тела с рельсом. Частота Доплера используется для измерения скорости движущегося по рельсам объекта.

#### 10.4.3. Поляризация

Поляризация волн — нарушение осевой симметрии поперечной волны относительно направления распространения этой волны. В неполяризованной волне колебания (векторов смещения и скорости частиц среды в случае упругих волн или векторов напряженностей электрических и магнитных полей в случае электромагнитных волн) в каждой точке пространства по всевозможным направлениям в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, быстро и беспорядочно сменяют друг друга, так что ни одно из этих направлений колебаний не является преимущественным. Поперечную волну называют поляризованной, если в каждой точке пространства направление колебаний сохраняется неизменным (линейно-поляризованными) или изменяется с течением времени по определенному закону (циркулярно или эллиптически-поляризованной).

Поляризация может возникнуть вследствие отсутствия осевой симметрии в возбуждающем волну излучателе (например, в лазерах), при отражении и преломлении волн на границе двух сред (наибольшая степень поляризации имеет место при отражении под углом Брюстера — тангенс угла равен коэффициенту преломления отражающей среды), при распространении волн в анизотропной среде.

**Авт. свид. № 452.786, G 01 N 27/00.** Способ магнитного контроля ферромагнитных материалов, заключающийся в том, что на поверхности предварительно намагниченного материала наносят индикатор и по рисунку, образованному под воздействием полей рассеяния, судят о качестве изделия, отличающийся тем, что, с целью



повышения его чувствительности, в качестве индикатора используют монокристаллическую пленку магний-марганцевого феррита с полосовой доменной структурой, а изменение состояния индикатора наблюдают в поляризованном свете.

Авт. свид. № 249.025, G 01 L 5/00. Способ оценки распределения контактных напряжений по величине деформаций пластичной прокладки, располагаемой в зоне контакта между соприкасающимися поверхностями, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, в качестве пластичной прокладки используют пленку из оптически чувствительного материала, которую затем просвечивают поляризованным светом в направлении действия контактных сил, и по картине полос судят о распределении контактных напряжений.

#### 10.4.4. Дифракция

В общем случае дифракция — это отклонения волновых движений от законов геометрической (прямолучевой) оптики. Если на пути распространения волны имеется препятствие, то на краях препятствия наблюдается огибание волной края. Если размеры препятствия велики по сравнению с длиной волны, то распространение волны почти не отклоняется от прямолинейного, т. е. дифракционные явления незначительны. Если же размеры препятствия сравнимы с длиной волны, то наблюдается сильное отклонение от прямолинейного распространения волнового фронта. При совсем малых размерах препятствия волна полностью его огибает — она «не замечает» препятствия. Очевидно, величина отклонения (количественная характеристика дифракции) при заданном препятствии будет зависеть от длины волны; волны с большой длиной будут сильнее огибать препятствие.

Такое разделение волн используется в дифракционных спектроскопах, где белый свет (совокупность волн различной длины) разлагается в спектр с помощью дифракционной решетки — системы частотных полос.

Авт. свид. № 252.625, G 01 B 12/00. Способ определения статических характеристик прозрачных диэлектрических пленок, заключающийся в том, что через исследуемую пленку пропускают луч света, отличающийся тем, что, с целью упрощения процесса и сокращения времени определения, на пути луча когерентного света за исследуемой пленкой устанавливают экран с отверстием,

вращают исследуемую пленку в плоскости, перпендикулярной оси луча, получают усредненную дифракционную картину от отверстия и затем из сравнения усредненной дифракционной картины с расчетной картиной определяют статические характеристики пленки.

#### 10.4.5. Интерференция

Интерференция волн — явление, возникающее при наложении двух или нескольких волн и состоящее в устойчивом во времени их взаимном усилении в одних точках пространства и ослаблении в других в зависимости от соотношения между фазами этих волн. Интерференционная картина может наблюдаться только в случае когерентных волн, т. е. волн, разность фаз которых не зависит от времени. При интерференции поперечных волн помимо когерентности волн необходимо, чтобы им соответствовали колебания, совершающиеся вдоль одного и того же или близких направлений; поэтому две когерентные волны, поляризованные во взаимно перпендикулярных направлениях, интерферировать не будут.

Существуют много различных методов получения когерентных волн, наиболее широко распространенными являются способы, основанные на использовании прямой и отраженной волны; если отраженная волна направлена точно назад, т. е. на  $180^\circ$ , то могут возникнуть стоячие волны.

Патент США № 3.796.493. Аппарат для измерения шага прецизионного ходового винта посредством оптической интерференции. Два чувствительных элемента приводят в контакт с одной и той же стороной резьбы винта в двух точках, фазы которых отличаются на  $180^\circ$ . Щупы смонтированы на направляющей, которая может перемещаться в любом направлении без вращения на каретке, в плоскости, параллельной плоскости движения каретки вдоль оси винта.

Подачу каретки, соответствующую одному обороту винта, регулируют таким образом, чтобы она приблизительно равнялась шагу винта. Средняя точка между сферическими концами двух щупов располагается в вершине кубического уголкового отражателя, смонтированного на направляющей.

Световой луч от уголкового кубического отражателя отражается рефлектором. Шаг резьбы измеряют, используя интерференцию между световыми лучами, разделенными

полупрозрачным зеркалом. Один из лучей испытывает отражения от углового отражателя и рефлектора. Измеренную величину сравнивают с эталонным шагом.

#### 10.4.6. Голография

Явления интерференции волн лежит в основе принципиально нового метода получения объемных изображений предметов — голографии.

Теоретические предпосылки голографии существовали давно (Д. Габор, 1948 г.), однако практическое ее осуществление связано с появлением лазеров — источников света высокой интенсивности, когерентности и монохроматичности.

Суть голографии состоит в следующем. Объект освещают когерентным светом и фотографируют интерференционную картину взаимодействия света, рассеянного объектом, с когерентным излучением источника, освещающего объект. Эта интерференционная картина — чередование темных и светлых областей сложной конфигурации, зарегистрированная фотопластинкой, и есть голограмма.

Она не имеет никакого сходства с объектом, однако несет в себе полную визуальную информацию о нем, так как фиксирует распределение амплитуд и фаз волнового поля — результат наложения опорной когерентной волны и волн, дифрагированных на объекте. Для восстановления изображения голограмму освещают опорным пучком света, который, дифрагируя на неоднородности почернения фотоэмульсии, дает изображение, обладающее полной иллюзией объекта.

Голограммы обладают рядом интересных особенностей. Например, если голограмму расколоть на несколько кусков, то каждый из них при просвечивании дает полное изображение предмета, как и целая голограмма. Изменяются лишь четкость изображения и степень объемности. Если же с голограммы контактным способом снять обратную копию (негатив), то изображение, полученное от этой копии, все равно останется негативом.

Одно из фундаментальных открытий в области голографии принадлежит Ю. Н. Денисюку, осуществившему голографию в стоячих волнах.

Открытие зарегистрировано под № 88 со следующей формулой:

«Установлено ранее неизвестное явление возникновения пространственного неискаженного цветового изобра-

жения объекта при отражении излучения от трехмерного элемента прозрачной материальной среды, в которой распределение плотности вещества соответствует распределению поля стоячих волн, образующихся вокруг объекта при рассеянии на нем излучения».

Такие трехмерные голограммы на стадии восстановления не обязательно освещать когерентным излучением — можно пользоваться обычным источником света.

Возможности использования голографических методов неисчерпаемы. Например, если процессы регистрации и восстановления производить при разных длинах волн, то изображение объекта увеличится во столько раз, во сколько длина волны восстановления больше длины волны регистрации (голографический микроскоп). С помощью голографии возможно получить интерференционные картины от объектов, диффузно рассеивающих свет. Совмещая голографическое изображение с самим объектом и изучая интерференционную картину, можно зафиксировать самые незначительные деформации объекта.

Авт. свид. № 250.465, G 01 B 12/02. Способ определения чистоты обработки поверхности изделия ..., отличающийся тем, что, с целью повышения чувствительности способа, сначала получают голограмму контролируемого изделия, производят освещение поверхности изделия, накладывая на него восстановленное с голограммы его действительное изображение, и регистрируют при этом интенсивность зеркально и диффузно отраженного от поверхности изделия излучения, затем изменяют взаимное расположение изделия и его действительного изображения на величину, большую, чем средняя высота микронеровностей поверхности, регистрируют интенсивность зеркально отраженного от поверхности изделия излучения и по соотношению этих интенсивностей определяют чистоту обработки поверхности.

Голография дает возможность создать оптическую память чрезвычайно большой емкости. С ее помощью успешно решается проблема машинного распознавания образов. Можно сделать так, что проекция на голограмму одних образцов будет вызывать появление других, определенным образом связанных с первым (ассоциативная память).

Существенно, что голографические изображения можно получать не только с помощью электромагнитных, но и акустических волн. Когерентные ультразвуковые волны дают возможность освещать большие объекты,

кроме того, они могут проникать в оптически непрозрачные объекты. Следовательно, можно получить трехмерное изображение внутренних частей объекта. Например, человеческого тела, недр Земли, толщи океана.

**Патент США № 3.585.848.** Аппарат для записи акустических изображений и голограммы и метод их записи. Объект облучается акустическими волнами для создания поля акустических колебаний в отражающей поверхности, в аппарате предусмотрено устройство развертки бегущим лазерным пятном для сканирования поверхности коллимированным лучом света. Изменения отражаемой от поверхности компоненты луча обеспечивают генерацию выходного сигнала, изменения частоты которого соответствуют измерениям интенсивности акустических колебаний в плоскости поверхности объекта.

Выходной сигнал гетеродинируется с опорным сигналом, частота которого выдерживается в заданном соотношении с частотой облучающих акустических волн, составляющая внутренней модуляции преобразуется в визуальную индикацию, что позволяет осуществить акустическую голограмму объекта. Условное неголографическое изображение (акустическое) может быть получено путем амплитудного детектирования выходного сигнала без смешения его с опорным сигналом.

Возможности оптической и акустической голографии изучены сейчас еще не полностью, голографические методы проникают во все области науки и техники, позволяя изящно и надежно решать ранее неразрешимые задачи.

#### 10.4.7. Дисперсия волн

Дисперсия волн — зависимость фазовой скорости гармонических волн в веществе от их частоты. Область частот, в которой скорость убывает с увеличением частоты, называется областью нормальной дисперсии, а область частот, в которой при увеличении частоты скорость также увеличивается, называется областью аномальной дисперсии. Дисперсия волн наблюдается, например, при распространении радиоволн в ионосфере, волноводах.

При распространении световых волн в веществе также имеют место дисперсия света (зависимость абсолютного показателя преломления от частоты света). Если вещество прозрачно для некоторой области частоты волн, то наблюдается нормальная дисперсия, а если интенсивно поглощает свет, то в этой области имеет место аномальная дисперсия. В ре-

зультате дисперсии узкий параллельный пучок белого света, проходя через призму из стекла или другого прозрачного вещества уширяется и образует на экране, установленном за призмой, радужную полоску, называемую дисперсионным спектром. Для световых волн единственной недиспергирующей средой является вакуум.

**Патент США № 3.586.120.** Аппаратура передачи звука. Углы, сканируемые световым лучом, увеличиваются посредством введения дисперсионного устройства на пути звуковых волн. Эти углы образованы вследствие взаимодействия света и звука. В одной из модификаций аппарата звуковые волн пропускают через неподвижную решетку, или другими словами, через среду, которая обладает дисперсией по своей природе. В другой модификации дисперсия достигается вследствие вибрации при образовании продольной волны в ответ на волны растяжения или сжатия.

**Авт. свид. № 253.408, G 01 B 12/00.** Устройство для измерения температуры, содержащее измерительный элемент, устанавливаемый на исследуемый материал, и источник белого света, отличающийся тем, что, с целью расширения интервала измеряемых температур, измерительный элемент выполнен в виде прозрачной кюветы, заполненной смесью оптически неоднородных веществ, соответствующих заданному интервалу температур, показатели преломления которой зависят от длины волны и температурные коэффициенты показателей преломления отличаются знаком либо величиной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шрайбер Д. С. Ультразвуковая дефектоскопия. — М., 1965.
2. Крауткреймер И. и др. Ультразвуковой контроль материалов. — М., 1991.
3. Гурвич А. К. Зеркально-теневой метод ультразвуковой дефектоскопии. — М., 1970.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

### 11.1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

В основе всех физических явлений лежит взаимодействие между телами или частицами, участвующими в этих явлениях. Согласно представлениям современной физики всякое взаимодействие передается через некоторое поле. Электрические заряды взаимодействуют через электрическое поле, которое они создают, магниты и электрические токи — через магнитное поле. Механическое взаимодействие тел осуществляется через электромагнитные поля, создаваемые электронами вещества.

#### 11.1.1. Закон Кулона

Взаимодействие заряженных тел или частиц в самом простейшем случае описывается законом Кулона. Известно, что разноименные заряды притягиваются, а одноименные отталкиваются.

Авт. свид. № 428.882, В 03 С 7/00. Способ соединения концов проводников, при котором осуществляют контактирование проводников, а затем сварку их концов, отличающийся тем, что, с целью упрощения технологического процесса, контактирование концов проводников получают при помощи создания между ними электрического поля от дополнительного источника постоянного напряжения, подключенного к проводникам.

Изменяя форму поверхности заряженных тел, можно изменять конфигурацию образующихся полей. А это, в свою очередь, открывает возможность управлять силами, действующими на заряженные частицы (тела), помещенные в такое поле.

Авт. свид. № 446.315, В 03 С 7/00. Способ разделения диэлектрических волокон по диаметрам в неравномерном электрическом поле, отличающийся тем, что, с целью по-

вышения эффективности процесса, разделение производят при постоянном градиенте квадрата напряженности поля, увеличивающейся в сторону электрода, имеющего тот же знак, что и поверхностный заряд на волокнах.

## 11.2. ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЗАРЯДЫ

При внесении незаряженного проводника в электрическое поле носители заряда приходят в движение. В результате у концов проводника возникают заряды противоположного знака, называемые индуцированными зарядами.

Авт. свид. № 518.839, Н 02 К 13/14. Способ снятия потенциальной кривой коллектора электрической машины постоянного тока, заключающийся в перемещении элемента, обеспечивающего снятие электрического параметра, вдоль окружности коллектора работающей электрической машины, отличающийся тем, что, с целью расширения функциональных возможностей, повышения точности и надежности, перемещение элемента, например датчика, использующего явление электрической индукции, осуществляют над коллектором на постоянном расстоянии и измеряют на датчике величину заряда, наведенного зарядами коллекторных пластин, и по величинам зарядов определяют характер потенциальной кривой.

Это же явление используется для защиты различных объектов от воздействия электрических полей путем электростатического экранирования и для получения сверхвысоких постоянных напряжений (генератор Ван-дер-Граафа).

## 11.3. ВТЯГИВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИКА В КОНДЕНСАТОР

При частичном введении диэлектрика между обкладками конденсатора наблюдается втягивание диэлектрика между обкладками.

Авт. свид. № 493.641, G 01 F 11/08. Дозатор жидкости, содержащий герметическую емкость с регулятором уровня, выпускным сифоном и воздухопроводящей трубой, отличающийся тем, что, с целью повышения надежности и упрощения конструкции, в канале воздухопроводящей трубы установлен частично погруженной в жидкий диэлектрик многоэлектродный электрический конденсатор, обкладки которого в момент выдачи жидкости соединены с источником напряженности.



## 11.4. ЗАКОН ДЖОУЛЯ–ЛЕНЦА

Под действием электрического поля в проводнике при создании на его концах разности потенциалов заряды движутся — в проводнике возникает электрический ток. Любые нарушения кристаллической решетки проводника — дефекты, примеси, тепловые колебания — являются причиной рассеяния электронных волн, т. е. уменьшения упорядоченности движения электронов. При этом в проводнике выделяется тепло (закон Джоуля–Ленца).

Авт. свид. № 553.233, С 04 В 35/00. Способ получения цементного клинкера путем подготовки, подогревания и спекания сырьевой смеси, отличающийся тем, что, с целью интенсификации процесса клинкерообразования, спекание осуществляют за счет пропуска через сырьевую массу электрического тока с напряжением 10–500 в.

## 11.5. ПРОВОДИМОСТЬ МЕТАЛЛОВ

Высокая проводимость металлов связана с особенностью их электронного спектра, в котором непосредственно над заполненными уровнями находятся свободные уровни. У большинства металлов сопротивление увеличивается линейно с ростом температуры. В то же время ряд сплавов имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления. Меняется сопротивление и у неметаллов.

### 11.5.1. Влияние фазовых переходов

Сопротивление металлов при плавлении возрастает, если его плотность возрастает (в полтора–два раза, для свинца — в 3–4 раза) и, наоборот, падает, если плотность металла при плавлении уменьшается (висмут, сурьма, галлий).

### 11.5.2. Влияние высоких давлений

При приложении внешнего гидростатического давления сопротивление металлов уменьшается. Это уменьшение максимально у щелочных металлов, имеющих максимальную сжимаемость. У ряда элементов на кривых зависимости сопротивления от давления имеются скачки, используемые в физике высоких давлений в качестве реперных точек.

### 11.5.3. Влияние состава

Кроме того, на сопротивление металлов очень сильно влияет наличие примесей (или состав сплава), что используется для идентификации сплавов.

Широко используется изобретателями и обычное изменение сопротивления объектов за счет изменения размеров или состава объекта.

Авт. свид. № 511.233, В 43 К 15/00. Способ определения качества пишущего инструмента, например, шариковой авторучки, путем нанесения ею на опорную поверхность пишущей жидкости и измерения электрического сопротивления последней, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения, в качестве опорной поверхности используют токопроводящую подложку, а измерение сопротивления осуществляют в цепи подложка-седло шарика.

Авт. свид. № 520.539, G 01 N 27/02. Способ измерения удельного электрического сопротивления образцов, заключающийся в измерении пропускаемого через образец тока, отличающийся тем, что, с целью повышения точности и упрощения процесса измерения, образец последовательно помещают в сосуды с растворами с известными удельными сопротивлениями, измеряют ток, проходящий через эти растворы, до и после погружения в них образца и об удельном сопротивлении образца судят по величине удельного сопротивления того раствора, при погружении образца в который ток, проходящий через этот раствор, не меняется.

## 11.6. СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

При низких температурах поведение сопротивления металлов весьма сложно. У некоторых металлов и сплавов обнаруживается явление сверхпроводимости. Сверхпроводящее состояние устойчиво, если температура, магнитное поле и плотность тока не превышают некоторых критических пределов.

Авт. свид. № 240.844, Н 01 D 2/00. Устройство для получения сверхсильных магнитных полей, представляющее собой охлаждаемый соленоид из несверхпроводящего материала, отличающееся тем, что, с целью повышения напряженности магнитного поля, снижения себестоимости и потребления электроэнергии, снаружи соленоида расположен в криостате с рабочим объемом вне криостата сверхпроводящий соленоид.

### 11.6.1. Критические значения параметров

Если один из параметров поддерживать вблизи критического значения, то сверхпроводящая система может быть использована для очень точного определения наибольших изменений измеряемой величины.

Авт. свид. № 525.886, С 01 Р 5/12. Способ измерения скорости течения жидкости, заключающийся в пропускании через чувствительный элемент электрического сигнала, подведения к нему тепла от дополнительного источника и определении скорости течения жидкости по изменению величины сигнала с чувствительного элемента, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения скорости течения криогенных жидкостей, ее определяют по величине теплового потока от дополнительного источника тепла в момент перехода чувствительного элемента из сверхпроводящего состояния в нормальное.

## 11.7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Электрическое и магнитное поле тесно связаны между собой. В природе существует электромагнитное поле — чисто электрические и чисто магнитные поля являются лишь его частными случаями. Изменяющиеся электрическое и магнитное поля индуцируют друг друга (под изменением поля надо понимать не только изменение его интенсивности, но и движение поля как целого).

Взаимное индуктирование электрического и магнитного полей происходит в пространстве с огромной скоростью (со скоростью света) и представляет собой распространение электромагнитных волн. Такими электромагнитными волнами являются радиоволны, свет — инфракрасный, видимый, ультрафиолетовый, а также рентгеновские и гамма-лучи. Поэтому многие эффекты, описанные в этом разделе, имеют аналоги и в оптике, и, наоборот, «оптические» эффекты широко применяются в радиотехнике, особенно в диапазоне СВЧ (например, эффект Фарадея).

Магнитное поле может быть создано постоянными магнитами, переменным электрическим полем и движущимися электрическими зарядами, в частности теми, которые движутся в проводнике, создавая электрический ток.

Авт. свид. № 553.707, Н 02 Н 5/12. Способ защиты человека от поражения электрическим током в сетях с напряжением до 1000 вольт путем отключения сети при поступлении на исполнительные органы аварийного сигнала, вы-

рабатываемого размещенным на теле человека датчиком на основе тока, протекающего через тело человека при его соприкосновении с токоведущими частями, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности, для формирования аварийного сигнала используют электромагнитные колебания, излучаемые телом человека, которые фиксируют антенной, служащей указанным датчиком.

### 11.7.1. Магнитная индукция.

#### Сила Лоренца

Основной характеристикой электрического поля является напряженность, определяемая через силу, действующую на заряд. Основной характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции, также определяемой через силу, действующую на заряд в магнитном поле.

На неподвижные заряды магнитное поле вообще не действует. Движущийся заряд магнит не притягивает и не отталкивает, а действует на него в направлении, перпендикулярном к полю и к скорости заряда. Сила, действующая на заряд в этом случае, называется силой Лоренца.

Авт. свид. № 491.517, В 63 В 1/24. Способ изменения подъемной силы крыла с постоянным углом атаки, например, судна на автоматически управляемых подводных крыльях. С целью повышения быстродействия и надежности системы управления подводными крыльями, снижения уровня гидродинамических шумов, по крылу пропускают магнитный поток, возбуждаемый электромагнитным полем, через морскую воду — электрический ток, направленный поперек магнитного потока.

### 11.7.2. Движение зарядов в магнитном поле

При движении зарядов в магнитном поле не вдоль линии этого поля из-за силы Лоренца траектория их движения будет представлять собой спираль. Чем сильнее поле, тем меньше радиус этой спирали. Период обращения заряда не зависит от скорости движения, а только от отношения величины заряда к массе заряженной частицы.

Авт. свид. № 542.363, Н 05 F 1/00. Устройство для измерения заряда аэрозоли, содержащее измерительный электрод, блок питания, выпрямитель и операционный усилитель, отличающееся тем, что, с целью повышения эффективности, оно снабжено магнитом, создающим

поперечное к направлению движения аэрозоли поле, а измерительный электрод выполнен плоским и установлен так, что его плоскость параллельна силовым линиям магнитного поля и направлению движения аэрозоли.

В случае перпендикулярности силовых линий магнитного поля плоскости движения заряженной частицы она начинает двигаться по кругу, причем радиус этого круга зависит от напряженности магнитного поля.

Авт. свид. № 516.905, G 01 F 1/00. Датчик расхода, содержащий корпус, крыльчатку, преобразователь угловой скорости крыльчатки в электрический сигнал, отличающийся тем, что, с целью расширения области применения и диапазона измерения, а также упрощения конструкции датчика расхода, преобразователь угловой скорости крыльчатки выполнен в виде магнетрона, анод которого выполнен с вырезами, расположенными в плоскости, параллельно оси вращения крыльчатки, в теле крыльчатки укреплены магниты с одноименными полюсами в одном торце, а на корпусе датчика расхода установлен подпорный магнит, причем магниты в теле крыльчатки и подпорный магнит обращены к магнетрону разноименными полюсами.

### 11.8. ПРОВОДНИК С ТОКОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Когда по проводнику, помещенному в магнитном поле, протекает электрический ток, электроны движутся относительно положительных ионов, составляющих кристаллическую решетку. Поэтому и в системе отсчета, связанной с решеткой, т. е. в системе отсчета, в которой проводник неподвижен, сила Лоренца действует только на электроны. Через взаимодействие электронов с ионами эта сила передается решетке.

Авт. свид. № 286.318, A 01 N 9/36. Способ контроля и дефектоскопии однотипных изделий, имеющих открытые дефекты, например, в виде пустот или однородных включений, отличающийся тем, что, с целью упрощения процесса контроля, изделие помещают в ванну с электрической жидкостью, пропускают через нее электрический ток, а затем воздействуют на жидкость магнитным полем для измерения ее кажущейся плотности до достижения безразличного положения в ней исправных изделий, а наличие дефектов определяют по изменению положения изделия относительно дна ванны.

Возможен и обратный эффект: колебания решетки передаются электронам, а их движение в магнитном поле приводит к возникновению тока.

Авт. свид. № 549.732, G 01 N 27/86. Способ неразрушающего контроля магнитных материалов, заключающийся в том, что контролируемые магнитные материалы помещают в магнитное поле и подвергают воздействию механических напряжений в пределах области упругой деформации, а о механических свойствах материалов судят по изменению индукции в них, отличающийся тем, что, с целью повышения точности и производительности контроля, используют постоянное магнитное поле, механические напряжения создают с помощью ультразвуковых колебаний, а о механических свойствах материалов судят по величине переменной составляющей индукции в них.

#### **11.8.1. Взаимодействие проводников с током**

Взаимодействие двух проводников, по которым текут электрические токи, осуществляется через магнитное поле. Каждый ток создает магнитное поле, которое действует на другой проводник. Таким образом, взаимодействуют отнюдь не поля между собой, а поле и ток.

Аналогичным образом взаимодействуют и движущиеся электрические заряды. Причем для магнитных взаимодействий третий закон Ньютона не выполняется (сила, действующая на один заряд со стороны другого, не равна силе, действующей на второй заряд со стороны первого).

### **11.9. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА ИНДУКЦИИ**

При движении (изменении) магнитного поля в замкнутом проводнике возникает ЭДС индукции. В соответствии с правилом Ленца направление индукционного тока таково, что его собственное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукцию. Внешние силы,двигающие магнит, встречают сопротивление со стороны проводящего контура. Собственное поле контура таково, что при приближении магнита рамка и магнит отталкиваются, а при удалении притягиваются. Во всех случаях внешние силы должны будут выполнять работу, которая превратится в конечном счете в работу тока.

**Патент США № 3.787.770.** Способ обнаружения снаряда, вылетающего из ствола орудия, и прибор для его осуществления. Магнит располагают вблизи дула орудия для того, чтобы вылетающий из ствола снаряд пересекал некоторые магнитные силовые линии магнита. При отделении снаряда от орудия и при прохождении снаряда над постоянным магнитом в считывающей катушке, намотанной на магните, наводятся импульсы напряжения, которые после прохождения через усилитель подводятся к осциллографу и/или гирографу для обеспечения отсчета.

**Авт. свид. № 279.117, G 05 B 23/30.** Термостат, содержащий теплоизолированную камеру, магнит и нагреватель, отличающийся тем, что, с целью упрощения конструкции и повышения надежности, в нем нагреватель выполнен в виде диска из ферромагнитного материала, установлен на валу электродвигателя и расположен в поле магнита.

Это явление наблюдается и в том случае, когда перемещение проводника не происходит, а магнитное поле меняется во времени.

### **11.9.1. Взаимная индукция**

Рассмотрим два контура, расположенные рядом. Переменный ток, протекающий в одном из них, создает переменное магнитное поле, которое вызывает появление ЭДС индукции в другом контуре. Такое явление называется взаимной индукцией.

### **11.9.2. Самоиндукция**

Переменный магнитный поток может вызываться переменным током самого контура. В этом случае в контуре также появляется ЭДС — она называется ЭДС самоиндукции.

## **11.10. ИНДУКЦИОННЫЕ ТОКИ**

Если в изменяющемся магнитном поле перпендикулярно к его силовым линиям поместить металлическую (не ферромагнитную) пластинку, в ней начнут протекать круговые индукционные токи.

**Авт. свид. № 513.237, G 01 B 7/00.** Способ магнитометрической размеромерии ферромагнитных изделий, заключающийся в том, что преобразовывают магнитные

шумы в электрические сигналы индуктивным преобразователем, а затем проводят амплитудно-частотный анализ спектра сигналов, по результатам которого судят о контролируемом размере, отличающийся тем, что, с целью повышения точности контроля толщины электропроводных неферромагнитных покрытий на ферромагнитной основе, выделяют ту часть спектра сигналов, компоненты которой изменились вследствие токовихревого взаимодействия с магнитными шумами.

#### 11.10.1. Токи Фуко

Ток в пластинке может достигать больших величин даже при небольшой напряженности поля, так как сопротивление массивного проводника мало. Индукционные токи в массивных проводниках называют токами Фуко или вихревыми токами.

Авт. свид. № 235.778, G 01 C 11/05. Устройство для оттаивания снеговой «шубы» испарителя, например, домашних холодильников, содержащее понижающий трансформатор, первичная обмотка которого включена в электрическую цепь переменного тока, отличающееся тем, что, с целью ускорения процесса оттаивания, первичная обмотка укреплена на стенке испарителя с тем, чтобы последний служил вторичной обмоткой трансформатора для наведения в нем вихревых токов.

#### 11.10.2. Механическое действие токов Фуко

Вихревые токи в пластинке создают магнитное поле, которое действует в соответствии с правилом Лоренца на встречную полю возбуждения. Это значит, что пластинка будет выталкиваться из поля.

Авт. свид. № 434.703. Способ ориентации немагнитных электропроводящих асимметричных деталей в переменном магнитном поле, образованном в межполюсном пространстве электромагнита, отличающийся тем, что, с целью уменьшения затрачиваемой мощности и повышения надежности ориентации, деталь в зону ориентации подают помещенной относительно плоскости симметрии магнитного поля так, что в одном из положений электродинамические силы, действующие на деталь, уравниваются, а в других — неравновесие этих сил усугубляется.

Колеблющаяся между полюсами электромагнита тяжелая металлическая пластинка «увязает», если включить



постоянный ток, питающий электромагнит, и останавливается. Вся ее энергия превращается в тепло, выделяемое токами Фуко. В неподвижной пластине токи, разумеется, отсутствуют. Тормоз, основанный на этом эффекте, не имеет трения покоя.

Авт. свид. № 497.069, В 21 В 43/04. Способ торможения проката на холодильниках сортовых прокатных станов, отличающийся тем, что, с целью увеличения производительности холодильников, торможение проката происходит бегущим полем, создаваемым электромагнитами, встроенными в приемный желоб холодильников.

### 11.10.3. Магнитное поле вихревых токов, эффект Майснера

Чем лучше проводник пропускает ток, тем ближе по величине к первоначальному встречное магнитное поле. В идеальный проводник (сверхпроводник) электромагнитная волна вообще не проникает, вихревые токи текут в бесконечно малой по толщине «кожице» металла. Выталкивание магнитного поля из сверхпроводника называется эффектом Майснера.

Этот эффект используется для создания магнитных экранов, позволяющих получить магнитный вакуум до  $10^{-8}$  эрстед. Им объясняется интересное явление — парение постоянного магнита над чашей из сверхпроводящих материалов.

### 11.10.4. Подвеска в магнитном поле

В стационарном электростатическом или магнитном поле подвеска тела не может быть стабильной, если относительная диэлектрическая проницаемость или магнитная проницаемость тела больше или равна единице. Диэлектрическая проницаемость всех тел больше единицы. Но магнитная проницаемость диамагнитных материалов и сверхпроводников меньше единицы. Это дает возможность осуществлять с этими веществами стабильную подвеску. Любое перемещение подвешенного тела приводит к появлению вихревых токов, энергии которых достаточно, чтобы удержать подвешенное тело.

Триумф индукционных токов — беличья клетка ротора асинхронного двигателя. На принципе асинхронного двигателя работают индукционные насосы для перекачивания жидких металлов в металлургии и ядерной энергетике.

На величину вихревого тока влияют удельная электрическая проводимость и магнитная проницаемость материала, толщина образца и частота тока.

При прохождении по проводнику тока высокой частоты наблюдается поверхностный эффект (скин-эффект) — ток идет только по поверхностному слою проводника. При частоте  $10^7$  Гц для хорошего ферромагнитного проводника толщина слоя приблизительно равна 0,01 см. На этом основан метод поверхностной закалки.

**Авт. свид. № 281.997, С 23 С 13/08.** Способ испарения материалов в вакууме путем высокочастотного нагрева, отличающийся тем, что, с целью осуществления процесса из кольцевого источника, испарению подвергают материал в форме диска при частоте электромагнитного поля, обеспечивающей появление скин-эффекта на его боковой поверхности.

Существование скин-эффекта означает, что электромагнитная волна, попадающая на поверхность проводника (металла, электролита или плазмы), быстро затухает в глубине проводника, проникая лишь на глубину скин-слоя.

**Авт. свид. № 451.888.** Способ очистки трубопроводов, преимущественно от отложений, путем их нагрева, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности, нагрев осуществляют сверхвысокочастотными электромагнитными волнами, которые направляют в трубопровод.

## 11.11. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

### 11.11.1. Излучение движущегося заряда

Электрический заряд, движущийся в пустоте равномерно относительно инерциальной системы отсчета, не излучает. Иная картина возникает в том случае, когда заряд под действием внешних сил движется с ускорением. Поле, обладающее энергией, а значит массой или инертностью, образно говоря, отрывается от заряда и излучается в пространстве со скоростью света. Излучение происходит до тех пор, пока на заряд действует сила, сообщаящая ему ускорение.

**Авт. свид. № 511.484, F 25 B 9/02.** Способ охлаждения рабочего тела путем расширения до получения двухфазного потока с отдачей внешней работы, отличающийся тем, что, с целью повышения экономичности, рабочее

тело перед расширением ионизируют, например, в поле коронного разряда, а отдачу внешней работы осуществляют путем торможения заряженных частиц в электрическом поле.

### 11.11.2. Эффект Вавилова—Черенкова

Если заряженная частица, являющаяся источником электрического поля, движется в среде со скоростью, большей, чем скорость света в этой среде, то частица будет опережать собственное электрическое поле. Такое опережение вызывает появление направленного электромагнитного излучения, причем излучение будет распространяться лишь в определенном телесном угле, определяемом скоростью частиц и показателем преломления среды. Чем больше плотность среды, тем более низкая энергия (скорость) заряженных частиц требуется для генерации излучения. Техника обнаружения этого свечения хорошо разработана — аппаратура позволяет обнаруживать отдельные частицы (поштучный счет с помощью счетчиков Черенкова). Кроме этого, черенковские счетчики используются для быстрого счета и непосредственного определения скорости заряженных частиц, селекции скоростей и направлений частиц, определения заряда и т. п. На использовании эффекта Вавилова—Черенкова возможно создание аппаратуры миллиметровых и более коротких радиоволн, черенковское излучение позволяет создать стандартный источник света, необходимый при биологических и астрономических исследованиях.

Авт. свид. № 431.867, А 61 В 6/00. Способ исследования проницаемости гематоофтальмического барьера путем введения в кровяное русло вещества, содержащего радиоактивный изотоп, и одновременно регистрации интенсивности бета-излучения над поверхностью роговицы глаза, отличающийся тем, что, с целью повышения точности исследования, дополнительно регистрируют изменения интенсивности черенковского излучения.

### 11.11.3. Бетатронное излучение

Другой пример — так называемое бетатронное (или синхронное) излучение. В этих приборах заряженные частицы движутся по круговым орбитам. При энергиях порядка десятка Мэв электроны излучают видимый свет, при еще больших энергиях — рентгеновский луч.

Наиболее важным для приложения является излучение заряда, совершающего гармоническое движение. На этом эффекте основана работа всевозможных излучателей антенн.

### 11.12. ЭФФЕКТЫ И ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С РАСПРОСТРАНЕНИЕМ РАДИОВОЛН

Радиоволнами принято называть такие электромагнитные колебания, частота которых ниже 3000 ГГц. Радиоволны распространяются прямолинейно и с постоянной скоростью ( $c = 10^8$  м/с). К видам излучения относятся: вторичное излучение, переизлучение и собственное излучение радиоволн. В первом и втором случаях радиолокатор излучает в направлении на цель мощный зондирующий сигнал; в последнем случае облучение цели не требуется.

Радиолокация с использованием вторичного излучения и переизлучения (ретрансляции) называется активной, а радиолокация с использованием собственного излучения — пассивной.

#### 11.12.1. Явление вторичного излучения

Явление вторичного излучения, лежащее в основе активной радиолокации, свойственно волнам любой природы. Оно возникает всякий раз, когда волна встречает препятствие на пути своего распространения. Падающую на препятствие волну называют первичной, отраженную или рассеянную — вторичной, а препятствие — пассивным вторичным излучателем. Препятствием для радиоволн служит любая неоднородность электрических параметров среды: диэлектрическая и магнитная проницаемость, или проводимость. Под действием электрического поля волны на облучаемой поверхности, например проводящей, возникают колебания электрических зарядов. Наведенные при этом токи проводимости являются источником излучения вторичных электромагнитных волн. В диэлектрике таким же источником являются токи смещения.

Явления вторичного излучения позволяют обнаружить и распознать цели, а также измерить координаты и параметры их движения.

Авт. свид. № 1.758.618, G 01 S 13/00. Способ формирования зоны обзора системы предупреждения наезда

транспортного средства. Сущность способа заключается в излучении сигналов с помощью сканирующей в горизонтальной плоскости диаграммой направленности антенны транспортного средства, приеме и обработке отраженных сигналов.

Явление вторичного излучения можно использовать и для измерения параметров атмосферы, например плотности и температуры.

Авт. свид. № 1.732.310, G 01 S 13/95. Способ определения плотности атмосферы на высоте Е-слоя ионосферы. Способ заключается в том, что излучают в ионосферу зондирующие радиопульсы, принимают отраженные от неоднородностей ионосферной плазмы радиопульсы и измеряют их параметры с последующим вычислением плотности атмосферы.

Авт. свид. № 1.723.309, G 01 S 13/95. Способ определения температуры на высоте Е-слоя ионосферы. Сущность способа заключается в излучении зондирующих сигналов, приеме отраженных от неоднородностей ионосферы сигналов и измерении их параметров с последующим вычислением температуры атмосферы.

### 11.12.2. Активный ответ

Активный ответ находит широкое применение при радиолокации и опознавании своих самолетов, ракет, противоракет и ИСЗ. На объекте в данном случае устанавливается прямо-передатчик (ответчик, ретранслятор), обеспечивающий достаточно большую интенсивность переизлученного сигнала.

Системы активной радиолокации могут быть совмещенными и разнесенными. В совмещенном радиолокаторе передающее и приемное устройства располагаются совместно, возможно поочередное использование одной и той же антенны для передачи и приема. В разнесенной системе передающее и приемное устройства располагают на определенном расстоянии друг от друга.

Авт. свид. № 1.786.457, G 01 S 13/95. Способ определения расстояния между запросчиком и ответчиком. Сущность изобретения заключается в формировании на запросчике сигнала несущей частоты запроса и сигнала дальности, модуляции сигнала несущей частотой запроса сигналом дальности с последующим его изучением, приемом и обработкой.

Активный ответ может быть использован для сличения шкал времени, разнесенных на большие расстояния, с помощью дуплексного метода связи через геостационарный ИСЗ-ретранслятор.

Основное достоинство дуплексного метода связи состоит в том, что в нем исключается длина трассы прохождения сигнала. Поэтому его точность в основном зависит от параметров бортового ретранслятора, типа сигнала и техники измерения временных интервалов.

Патент РФ № 2.003.157, G 04 C 11/02. Способ синхронизации часов. Способ основан на одновременном приеме разнесенными наземными пунктами шумовых СВЧ-сигналов с борта ИСЗ, когерентном их преобразовании к видеочастоте, цифровой регистрации принятых сигналов и определении временной задержки прихода одного и того же сигнала в пункты синхронизации методом корреляционной обработки зарегистрированных сигналов, по величине которой производится сличение шкал времени.

Дуплексный метод связи через геостационарный ИСЗ-ретранслятор может быть использован не только для сличения удаленных шкал времени, но и для обмена конфиденциальной дискретной и аналоговой информацией между наземными пунктами и ее защиты от несанкционированного доступа с помощью специальных методов шифрования, кодирования и преобразования, в результате которых ее содержание становится недоступным без предъявления ключа криптограммы и обратного преобразования.

Патент РФ № 2.040.035, G 04 C 11/02. Способ синхронизации часов. Способ основан на использовании дуплексного канала связи, по которому происходит обмен дискретной и аналоговой информацией с помощью сложного сигнала с комбинированной фазовой манипуляцией и амплитудной модуляцией.

### 11.12.3. Фазовая скорость

Простейшим из эффектов распространения радиоволн является отличие фазовой скорости в реальной среде  $v_\phi$  от соответствующей скорости в свободном пространстве  $c$ . Напомним, что фазовая скорость есть скорость перемещения геометрического места точек с постоянной фазой (волнового фронта) при распространении монохроматической волны. Отличие фазовых скоростей в реальной среде и свободном пространстве часто характеризуют коэффициентом преломления среды

$$n = \frac{c}{v_{\phi}}.$$

Если фазовая скорость зависит от частоты, то это вносит существенные дополнительные эффекты при распространении радиолокационных сигналов.

Явление зависимости фазовой скорости от частоты называется дисперсией волн. Среда, в которых наблюдается дисперсия волн, называется диспергирующими. Влияние дисперсии волн проявляется при одновременном распространении нескольких монохроматических волн различных частот, что практически всегда имеет место, так как всякий сигнал может быть передан только совокупностью (группой) монохроматических волн. В диспергирующей среде монохроматические волны распространяются с различными фазовыми скоростями. Это является причиной того, что фазовые соотношения между спектральными компонентами сигнала меняются.

#### 11.12.4. Рефракция радиоволн. Эффект Кабанова

Существенным эффектом распространения радиоволн в реальной среде является искривление направления распространения, иначе рефракция радиоволн. Это явление может возникнуть в неоднородной среде, т. е. среде с изменяющимся от точки к точке коэффициентом преломления.

Рефракция может быть источником ошибок определения угловых координат цели. Это может потребовать внесения поправок при точных измерениях направления на цель и ее дальности.

В ряде случаев неоднородность атмосферы имеет полезное применение, позволяя в диапазоне коротких волн осуществлять радиолокацию целей, находящихся за горизонтом.

Здесь искривление луча столь сильное, что уже можно говорить не только о рефракции, но и об отражении. Примечательно, что обратный путь отраженного сигнала повторяет путь зондирующего. Возможность получения отраженных сигналов с использованием односкачковых или многоскачковых отражений от ионосферы и Земли впервые экспериментально была показана российским ученым Н. И. Кабановым. Это явление получило наименование эффекта Кабанова.

### 11.12.5. Эффект Доплера–Белопольского

Сущность эффекта Доплера–Белопольского заключается в том, что частота принимаемых колебаний отличается от частоты излучаемых колебаний, если излучатель и приемник перемещаются относительно друг друга.

Эффект Доплера–Белопольского используется, например, для измерения радиальной скорости наблюдаемых объектов и для пеленгации источников излучения сигналов.

Патент РФ № 2.061.321, В 60 R 25/00. Противоугонное устройство для транспортного средства. В данном устройстве пеленгация угнанного транспортного средства осуществляется фазовым методом. Известно, что фазовому методу пеленгации свойственно противоречие между точностью и однозначностью пеленгации источника излучения сигнала. Для устранения неоднозначности пеленгации угнанного транспортного средства, снабженного передатчиком, используется эффект Доплера–Белопольского. Для этого система приемных антенн располагается на местности в виде окружности, в центре которой размещается неподвижная приемная антенна. Электрическим путем обеспечивается «вращение» приемных антенн, расположенных по окружности, вокруг неподвижной антенны, расположенной в центре окружности. Тем самым реализуется совмещение фазового и частотного методов пеленгации и обеспечивается точная и однозначная пеленгация угнанного транспортного средства.

### 11.12.6. Эффект вращающегося винта

Если одну приемную антенну разместить у основания винта вертолета, а две другие приемные антенны — на симметричных концах лопастей винта, то при вращении винта вертолета реализуется дифференциально-фазовый метод пеленгации источников излучения сигналов, расположенных на Земле. При этом для устранения неоднозначности пеленгации также используется эффект Доплера–Белопольского и автокорреляционная обработка принимаемых сигналов.

Авт. свид. № 1.810.859, G 01 S 13/04. Вертолетная радиолокационная станция. Для пеленгации источников излучения, размещенных на Земле, в указанной вертолетной радиолокационной станции используются пять приемных антенн. Причем неподвижная антенна



размещается у основания винта вертолета, а четыре другие приемные антенны размещаются на концах симметричных лопастей винта. В качестве источников излучения сигналов могут быть радиодатчики угнанных транспортных средств, стихийных и экологических бедствий.

### 11.12.7. Эффект синтезирования апертуры

Эффект синтезирования апертуры позволяет получать высокую разрешающую способность, например, по азимуту при использовании антенны малого размера. Он основан на формировании узкой диаграммы направленности антенны по азимуту с помощью искусственно создаваемой антенной решетки. Для существенного повышения разрешающей способности используется знание траектории движения носителя РЛС. Отраженные сигналы обрабатываются после приема их в нескольких точках траектории полета носителя.

Авт. свид. № 1.810.859, G 01 S 13/04. Радиолокационная станция. Использование радиолокационной станции с синтезированной апертурой и антеннами, расположенными на концах вращающихся лопастей несущего винта и работающих на разных частотах, позволяет обнаружить и определить координаты объектов, расположенных под подстилающей поверхностью земли, снежного или ледяного покрова с высокой угловой разрешающей способностью. В результате на четырехцветном индикаторе можно наблюдать послойное изображение подповерхностной структуры и расположенные в этой структуре объекты. Причем цвет изображения объектов определяется их глубиной, которая увеличивается с увеличением длины рабочей волны.

Синтез раскрыва может быть использован также при радиолокации планет и других космических объектов.

### 11.12.8. Эффект Фарадея

Известно, что концентрация электронов в ионосфере может быть определена по измерениям приведенной разности фаз когерентных частот и/или углу поворота плоскости поляризации радиоволн. Для этих измерений используется эффект Фарадея. Так, например, угол поворота плоскости поляризации, который определяется разной скоростью распространения обыкновенной и не-обыкновенной волн, находится из соотношения

$$\Omega = \frac{1}{2} (\varphi_2 - \varphi_1),$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  — фазовые запаздывания обыкновенной (вращение плоскости поляризации по часовой стрелке) и необыкновенной (вращение против часовой стрелки) волн соответственно.

**Патент РФ № 2.018.872, G 01 S 13/95.** Способ определения электронной концентрации в заданной области ионосферы и устройство для его осуществления. Сущность предлагаемого технического решения заключается в следующем.

Периодически импульсно в заданном направлении излучают плоскополяризованную волну. Из-за эффекта Фарадея сигнал испытывает вращение плоскости поляризации. В принимаемом сигнале некогерентного рассеяния выделяют обыкновенную и необыкновенную составляющие. Изменение приращения угла поворота плоскости поляризации принимаемого сигнала связано с измерением интегрального содержания электронов в заданной области ионосферы от дальности  $r_1$  до  $r_2$ . Для измерения этого изменения измеряют разность фаз между обыкновенной и необыкновенной составляющими.

Эффект Фарадея может быть использован и для определения степени радиоактивности в районе расположения объекта атомной промышленности, например АЭС. Известно, что при повышении степени радиоактивности повышается концентрация электронов и ионов, т. е. плазмы в районе расположения АЭС. При этом зондирующая плоскополяризованная волна при отражении от плазмы трансформируется в обыкновенную и необыкновенную составляющие. Измерив разность фаз между ними, можно оценить степень концентрации плазмы, а следовательно, и степень радиоактивности в районе расположения АЭС.

### 11.12.9. Поляризационные эффекты

Эффективная поверхность рассеяния реальных объектов зависит от поляризации зондирующих колебаний. При облучении реальных объектов, кроме того, имеет место явление деполяризации, когда поляризация поля в точке приема отличается от поляризации зондирующих колебаний. Степень деполяризации определяется электрическими свойствами и формой объекта, зависит от длины волны и условий распространения.

Деполаризация может быть вызвана не только целью, но и средой.

Поляризационные эффекты могут быть использованы для повышения качества обнаружения полезных сигналов аэродинамических целей, принимаемых на фоне мешающих отражений гидрометеоров. Исследование поляризации отраженного сигнала позволяет также получать некоторую информацию об электрических характеристиках и форме цели.

В общем случае зависимость эффективной поверхности от поляризации облучающих колебаний удобно, с точки зрения практических приложений, представить поляризационной матрицей или, как иногда говорят, матрицей рассеяния.

#### **11.12.10. Эффект «слепых» скоростей**

При любом способе обеспечения когерентности (истинная внутренняя, эквивалентная внутренняя, внешняя когерентность) и любом способе обработки (на промежуточной или на видеочастоте) характер амплитудно-скоростной характеристики определяется в первую очередь формой и параметрами зондирующего сигнала — его телом неопределенности. Периодическая структура зондирующего сигнала от импульса к импульсу и постоянство его огибающей на протяжении импульса приводят к периодической структуре тела неопределенности по оси частот и не позволяют в некоторых случаях разрешать цели, имеющие разные скорости, что и является причиной эффекта «слепых» скоростей. Нарушить периодичность тела неопределенности по скорости можно, например, следующими двумя способами: нарушая периодичность посылки импульсов или нарушая постоянство огибающей на протяжении импульса. В любом из указанных случаев нарушается периодическая структура тела неоднородности по оси частот.

#### **11.12.11. Эффект многолучевого характера распространения радиоволн**

К числу проблем, от решения которых в значительной мере зависит дальнейший прогресс средств радиосвязи, следует отнести проблему установления надежной связи в каналах при наличии эффекта многолучевого характера распространения радиоволн. Типичным примером такого

типа каналов являются коротковолновые каналы. Наличие эффекта многолучевого характера распространения радиоволн приводит к искажению принимаемых сигналов, что затрудняет прием и снижает достоверность передачи информации.

Попытки преодолеть вредное влияние многолучевости предпринимаются уже давно. К ним можно отнести разнесенный прием, селекцию сигналов по времени и углу прихода, корректирующее кодирование и некоторые другие методы. Однако все они не дают принципиального решения проблемы.

Сигнал со сложной структурой благодаря своим хорошим корреляционным свойствам может быть «свернут» в узкий импульс, длительность которого обратно пропорциональна используемой ширине полосы частот. Выбирая такую полосу частот, чтобы длительность «свернутого» импульса была меньше времени запаздывания, можно осуществить разделенный прием импульсов, приходящих в точку приема различными путями, а суммируя их энергию, можно, кроме того, повысить помехоустойчивость приема сложных сигналов. Тем самым указанная проблема получает принципиальное разрешение.

#### 11.12.12. Явление резонанса

Инfrasound оказывает вредное воздействие на человека. Он влияет на организм не только через рецепторы органа слуха, но и через специальные нервные клетки организма, обладающие избирательной чувствительностью к изменению внешней и внутренней среды.

В общем случае механическое воздействие инфразвука на организм можно объяснить с помощью резонансной теории. Механизм воздействия становится понятным, если представить организм человека в виде механической колебательной системы, состоящей из оболочки с эластичными стенками, внутри которой через упругие связи подвешены элементы масс. Каждый такой элемент будет иметь собственную частоту колебаний, такую же, как и соответствующий ему орган тела человека. В спокойном состоянии система уравновешена действующими на нее силами: наружной (активной) — статическим атмосферным давлением и внутренней (реактивной) — упорядоченными силами системы. Иначе обстоят дела, когда систему помещают в поле звуковых давлений низкой частоты. Если эти давления существенны, то под их влиянием

эластичные стенки придут в колебательное движение, напоминающее работу пульсирующей системы. Иначе говоря, под воздействием звука, имеющего большую длину волны при сравнительно малых размерах нашей системы, последняя будет периодически сжиматься и расширяться. Колебания внешней оболочки передаются внутренним элементам. При этом, если собственная частота какого-нибудь элемента близка к частоте возбуждающих колебаний или совпадают с ней, он будет вибрировать с увеличенной амплитудой. Аналогично воздействуют на организм человека и те звуковые колебания, длина четверти волны которых соизмерима с антропометрическими данными. Субъективно эти колебания вызывают неприятные ощущения в области живота и грудной клетки. Порог опасности смерти предполагает инфразвуковые уровни 180–190 дБ. Даже кратковременное действие звука такой силы может привести здоровые организмы к смертельному исходу. Порог безопасности представляют инфразвуки с уровнем ниже 90 дБ.

Мероприятия по защите человека от воздействия инфразвука могут быть организационного, инженерно-технического и санитарно-гигиенического характера.

### **11.13. ЭФФЕКТЫ И ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ**

#### **11.13.1. Классификация сигналов**

По значению базы  $B = T_c \Delta f_c$ , где  $T_c$ ,  $\Delta f_c$  — длительность и ширина спектра, сигналы делятся на простые и сложные. Для простых сигналов  $B \cong 1$ , для сложных сигналов  $B \gg 1$ .

По значению коэффициента  $\mu = \Delta f_c / f_c$ ,  $f_c$  — несущая частота, сигналы делятся на узкополосные и сверхширокополосные. Для узкополосных сигналов  $\mu = 0,1 \dots 0,2$ , для сверхширокополосных (сверхкоротких)  $\mu \approx 1$ .

#### **11.13.2. Эффекты энергетической и структурной скрытности сложных сигналов**

Энергетическая скрытность сложных сигналов обусловлена их высокой сжимаемостью во времени или по спектру при оптимальной обработке, что позволяет снизить мгновенную излучаемую мощность. Вследствие этого сложный сигнал в точке приема может оказаться замаски-

рованным шумами и помехами. Причем энергия сложного сигнала отнюдь не мала, она просто распределена по частотно-временной области так, что в каждой точке этой области мощность сигнала меньше мощности шумов и помех.

Структурная скрытность сложных сигналов обусловлена большим разнообразием их форм и значительными диапазонами изменения значений параметров, что затрудняет оптимальную или хотя бы квазиоптимальную обработку сложных сигналов априорно неизвестной структуры с целью повышения чувствительности приемника.

### 11.13.3. Эффект свертки спектра сложных сигналов

Эффект свертки спектра сложных сигналов состоит в том, что в результате определенных операций над сложным сигналом, например, перемножением сигнала самого на себя, его спектр трансформируется в другой спектр, ширина которого значительно меньше ширины исходного спектра.

Данный эффект находит широкое применение, например:

1. Для распознавания вида модуляции сложных сигналов.

Патент РФ № 2.080.655, G 06 K 9/00. Устройство для распознавания информационных сигналов. Указанное устройство обеспечивает визуальный анализ амплитудного спектра информационных сигналов и определение вида их модуляции. Причем в качестве признаков распознавания используются деформации амплитудного спектра принимаемого сложного сигнала при умножении его фазы на два, четыре и восемь. Ширина спектра  $\Delta f_c$  фазоманипулированного сигнала (ФМн  $\phi_k(t) = \{0, \pi\}$ ), например, определяется длительностью  $\tau_3$  его элементарных посылок ( $\Delta f_c = 1/\tau_3$ ). Тогда как ширина спектра второй  $\Delta f_2$ , четвертой  $\Delta f_4$  и восьмой  $\Delta f_8$  гармоник сигнала определяется длительностью сигнала  $T_c$  ( $\Delta f_2 = \Delta f_4 = \Delta f_8 = 1/T_c$ ,  $T_c = \tau_3 N$ , где  $N$  — количество элементарных посылок, из которых составлен сигнал).

Следовательно, при умножении фазы на два, четыре и восемь спектр ФМн-сигнала сворачивается в  $N$  раз ( $\Delta f_c/\Delta f_2 = \Delta f_c/\Delta f_4 = \Delta f_c/\Delta f_8 = N$ ) и трансформируется в одичные спектральные составляющие. Это обстоятельство и является признаком распознавания ФМн-сигнала.

Аналогичные преобразования происходят с шириной спектра других сложных сигналов.

2. Для обнаружения и визуальной оценки основных параметров сложных сигналов.

Патент РФ № 2.030.750, G 01 R 23/00. Панорамный приемник. Данный приемник за счет свертки спектра принимаемого сигнала обеспечивает обнаружение и визуальную оценку несущей частоты  $f_c$ , длительности  $T_c$ , кратности  $m$  фазовой манипуляции, длительности  $\tau_3$  и количества  $N$  элементарных посылок ФМн-сигнала.

3. Для повышения точности и устранения неоднозначности пеленгации источников излучения ФМн-сигналов.

Патент РФ № 2.003.131, G 01 S 3/10. Пеленгатор. Повышение точности пеленгации достигается увеличением относительного размера базы  $d/\lambda$ . А устранение неоднозначности обеспечивается квадратурной обработкой принимаемых сигналов.

#### 11.13.4. Эффект структурной селекции

Сложные сигналы открывают новые возможности и в технике передачи сообщений. Указанные сигналы позволяют применять новый вид селекции — структурную селекцию. Это значит, что появляется новая возможность разделять сигналы, действующие в одной и той же полосе частот и в одни и те промежутки времени. Принципиально можно отказаться от традиционного метода разделения рабочих частот используемого диапазона между работающими радиостанциями и селекцией их на приемной стороне с помощью частотных фильтров. Его можно заменить новым методом, основанным на одновременной работе каждой радиостанции во всем диапазоне частот сигналами со сложной структурой с выделением радиоприемным устройством сигнала необходимой радиостанции посредством его структурной селекции.

Патент РФ № 2.001.407, G 01 R 23/00. Панорамный приемник. Данный приемник обеспечивает структурную селекцию ФМн-сигналов среди других сигналов и помех. Ширина спектра восьмой гармоники сигнала  $\Delta f_8$  определяется длительностью  $T_c$  сигнала ( $\Delta f_8 = 1/T_c$ ), тогда как ширина спектра  $\Delta f_c$  ФМн-сигнала определяется длительностью  $\tau_3$  его элементарных посылок ( $\Delta f_c = 1/\tau_3$ ), т. е. ширина спектра  $\Delta f_8$  восьмой гармоники сигнала в  $N$  раз меньше ширины спектра  $\Delta f_c$  входного сигнала  $\Delta f_c/\Delta f_8 = N$ . Следовательно, при умножении частоты принимае-

мого ФМн-сигнала на восемь его спектр «сворачивается» в  $N$  раз. Это обстоятельство и позволяет обнаружить ФМн-сигнал и отселектировать его среди других сигналов и помех даже тогда, когда его мощность на входе приемника меньше мощности шумов и помех.

#### 11.13.5. Эффект «ударной» радиолокации

Эффект «ударной» (сверхкороткоимпульсной) радиолокации заключается в генерировании и использовании элементов сигнала без несущей частоты. Длительность генерируемых импульсов составляет единицы наносекунд.

При обработке и сжатии сложных сигналов образуются боковые лепестки корреляционной функции, которые ограничивают разрешающую способность радиолокационной станции, использующей сложные сигналы. Функция корреляции сверхширокополосных сигналов не имеет боковых лепестков, а радиолокационные станции, использующие такие сигналы, обеспечивают обнаружение самолетов «Стелс», снабженных специальным покрытием и «невидимых» для простых РЛС.

Сверхширокополосные сигналы могут найти применение для зондирования подповерхностных слоев, обнаружения целей, закрытых радиопрозрачным материалом и т. п.

Патент РФ № 2.105.330, G 01 V 3/12. Геофизический радиолокатор. Данный радиолокатор может быть использован при разведке полезных ископаемых, а также для поиска инженерных коммуникаций и других скрытых неоднородностей в исследуемом подповерхностном слое земной поверхности. Он основан на использовании сверхкоротких импульсов и стробоскопического метода их обработки.

#### 11.13.6. Эффект Стокса

Эффект Стокса заключается в том, что для распознавания вида модуляции (манипуляции) сигналов используются четыре параметра Стокса. Анализ показывает, что для решения поставленной задачи можно ограничиться двумя параметрами, поскольку в них содержится информация как о значении огибающей, так и о разности фаз принятых колебаний в двух отстоящих на  $t$  моментах времени.

Авт. свид. № 832.492, G 06 K 9/00. Устройство классификации сигналов. Данное устройство использует вещественный вектор, которому на плоскости соответствует



точка с координатами  $Q_1$  и  $Q_2$ . При этом очевидно, что с изменением огибающей точка смещается по радиусу из начала координат, а изменение разности фаз приводит к повороту этой точки по окружности вокруг центра координат.

### 11.13.7. Эффект комплексного спектра

При манипуляции высокочастотного колебания по амплитуде, частоте и фазе двухполярными посылками постоянного тока образуются манипулированные сигналы, для распознавания которых можно использовать спектральный метод, основанный на особенностях их амплитудных и фазовых спектров, получаемых в реальном масштабе времени. При этом в качестве признаков распознавания указанных сигналов используются симметрия амплитудного спектра и наличие линейного фазового члена.

При частотной манипуляции (ЧМн) амплитудный спектр не обладает свойством симметрии, а при амплитудной (АМн) и фазовой (ФМн) манипуляции он является четно-симметричной функцией частоты. Обозначив данный признак через  $\alpha$ , получим

$$\alpha_{\text{АМн}} = 0, \alpha_{\text{ЧМн}} = 1, \alpha_{\text{ФМн}} = 0.$$

По этому признаку можно различать два класса сигналов: ЧМн-сигналы и АМн(ФМн)-сигналы.

Фазовые спектры АМн- и ЧМн-сигналов характеризуются наличием линейного члена. Обозначив данный признак через  $\beta$ , получим

$$\beta_{\text{АМн}} = 0, \beta_{\text{ЧМн}} = 1, \beta_{\text{ФМн}} = 0.$$

Следует отметить, что в пространстве признаков рассматриваемые классы сигналов не пересекаются, т. е. их распознавание можно производить с высокой достоверностью.

Авт. свид. № 481.054, G 06 K 9/00. Устройство для распознавания радиосигналов. Принимаемый дискретный сигнал поступает на вход анализатора комплексного спектра, на двух выходах которого формируются признаки  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно. К этим выходам подключен блок логической обработки, состоящий из элементов совпадения  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  и инверторов  $\text{Инв}_1$ ,  $\text{Инв}_2$ . Данный блок осуществляет распознавание дискретных сигналов по виду их манипуляции.

## 11.13.8. Явление «обратной работы»

Необходимым условием когерентного приема и синхронного детектирования ФМн-сигналов является наличие в точке приема опорного напряжения, имеющего постоянную начальную фазу и частоту, равную частоте принимаемого сигнала.

Наибольшее распространение нашел метод выделения опорного напряжения непосредственно из принимаемого ФМн-сигнала. Для реализации данного метода разработан ряд интересных и оригинальных устройств (схемы А. А. Пистолькорса, В. И. Сифорова, Д. Ф. Костаса, Г. А. Травина), от которых в значительной степени зависит качество когерентного приема ФМн-сигналов. Эти устройства выполняют две основные функции: устраняют манипуляцию фазы в принимаемом ФМн-сигнале и осуществляют его фильтрацию на фоне помех.

Однако указанным устройствам присуще явление «обратной работы», которое может быть двух типов. Первый тип «обратной работы» обусловлен неопределенностью начальной фазы опорного напряжения, выделяемого непосредственно из принимаемого ФМн-сигнала. При равновероятных значениях переменной составляющей фазы сигнала  $\varphi_1 = 0$  и  $\varphi_2 = \pi$  отсутствует признак, который позволял бы «привязать» фазу  $\varphi_0$  опорного напряжения к одной из фаз сигнала. Поэтому фаза опорного напряжения всегда имеет два устойчивых состояния:  $\varphi_0$  и  $\varphi_0 + \pi$ . Следовательно, даже имея в точке приема опорное напряжение с постоянной фазой и частотой, равной частоте принимаемого сигнала, можно выделить аналог либо исходной модулирующей функции, либо инверсной (обратной) модулирующей функции в зависимости от того, как будут сфазированы входной сигнал и опорное напряжение.

Однако анализируя аналог модулирующей функции, выделяемой из принимаемого ФМн-сигнала в прямом или обратном коде, можно достоверно определить ее параметры (закон фазовой манипуляции, длительность  $t_z$  и количество  $N$  элементарных посылок). При этом не принципиально, в прямом или обратном коде анализируется аналог модулирующей функции. Необходимо, чтобы было обеспечено постоянство фазы опорного напряжения, следовательно, и аналога модулирующей функции в течение всего времени приема и анализа. Именно такая ситуация возникает в реальных условиях приема, когда отсутствуют априорные сведения о параметрах

принимаемого ФМн-сигнала. Поэтому в процессе когерентного приема и синхронного детектирования ФМн-сигналов нет необходимости раскрывать неопределенность фазы опорного напряжения, которая является внутренним свойством данных сигналов.

Таким образом, первый тип «обратной работы» не снижает помехоустойчивости когерентного приема ФМн-сигналов и не влияет на достоверность определения их параметров.

Второй тип «обратной работы» обусловлен скачкообразными переходами фазы опорного напряжения из одного состояния  $\varphi_0$  в другое  $\varphi_0 + \pi$  под действием помех, кратковременного прекращения приема и других факторов. Эти переходы за время приема ФМн-сигнала происходят в случайные моменты времени. При этом на выходе фазового детектора выделяется искаженный аналог модулирующей функции. Данный тип «обратной работы» является весьма вредным в технике когерентного приема ФМн-сигналов и делает невозможным достоверное определение вышеуказанных параметров. Именно из-за этого типа «обратной работы» классическая фазовая манипуляция долгое время не находила широкого применения несмотря на ряд своих преимуществ.

В настоящее время существует несколько методов устранения «обратной работы» второго типа.

Можно применять, например, специальные испытательные послылки для подтверждения правильности установки начальной фазы в приемнике; можно также использовать специальные коды, обнаруживающие и исправляющие ошибки, вызванные «обратной работой» второго типа. Однако указанные методы связаны с введением в сигнал некоторой избыточности, снижающей эффективность использования фазовой манипуляции.

«Обратная работа» была устранена радикальным образом, когда вместо обычной фазовой манипуляции Н. Т. Петровичем была предложена относительная фазовая манипуляция (ОФМн). Сущность данного метода заключается в том, что опорным напряжением для каждой элементарной посылки служит предыдущая посылка. Практическая реализация фазовой манипуляции в системах ОФМн усложняет аппаратуру при одновременном снижении помехоустойчивости системы. Переход от ФМн к ОФМн связан с эквивалентным увеличением шумов в канале в два раза. Кроме того, система ОФМн для своей реализации требует априорного знания длительности  $\tau_0$  эле-

ментарных посылок и имеет тенденцию к парному группированию ошибок, т. е. появление одной ошибки влечет за собой появление и второй. Следовательно, общая вероятность ошибок значительно увеличивается. Поэтому разработка методов и устройств, обеспечивающих устранение явления «обратной работы» второго типа в системах фазовой манипуляции, всегда была и остается актуальной.

Патент РФ № 2.006.394, В 60 R 25/00. Противоугонное устройство для транспортного средства. В данном устройстве устраняется нестабильность фазы опорного напряжения, вызванная скачкообразным ее изменением под действием помех, и связанная с ней «обратная работа» второго типа. Это достигается с помощью частотного детектора, триггера и двойного балансного переключателя. При этом частотный детектор обеспечивает обнаружение момента возникновения «обратной работы» второго типа, а триггер и двойной балансный переключатель устраняют ее.

#### 11.14. ЭФФЕКТЫ И ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ

В последние годы проводятся интенсивные поиски новых физических принципов построения аппаратуры обработки сигналов. Причем направления этих поисков все чаще начинают выходить за рамки чисто радиоэлектронных методов.

Одним из таких направлений является акустооптическая обработка сигналов, которая обеспечивает возможность:

- трансформации радиодиапазона в оптический диапазон через промежуточный акустический аналог;
- преобразования амплитудных, частотных и фазовых различий сигналов в пространственные различия оптических сигналов;
- параллельной, одновременной и практически мгновенной обработки нескольких сигналов;
- весьма простой реализации на практике анализаторов спектра, корреляторов, демодуляторов, пеленгаторов и т. д.;
- значительного уменьшения весовых и габаритных размеров приемной аппаратуры, что особенно важно при размещении ее на борту летательных аппаратов и объектов.

При этом важно подчеркнуть, что основной особенностью акустооптической обработки сигналов является пространственная двумерность оптических сигналов, в

связи с чем возможности обработки сигналов в оптическом диапазоне оказываются существенно шире, чем в радиодиапазоне, где сигналы имеют временную одномерность.

#### 11.14.1. Упругооптический эффект

Носителем информации в когерентно-оптических системах является модулированный во времени и в пространстве лазерный луч. Поэтому АО-ячейки или акустооптические модуляторы (АОМ) света являются одним из ключевых элементов таких систем.

АОМ представляет собой светозвукопровод определенных геометрических размеров с пьезоэлектрическим преобразователем.

Возбуждаемая бегущая звуковая волна создает в акустической среде периодическое (по времени и пространству) изменение плотности среды, которое приводит к изменению показателя преломления в результате упругооптического эффекта. Поскольку указанное изменение показателя преломления влияет на фазу прошедшей световой волны, то среда с изменяющимся по пространству показателем преломления представляет собой фазовую пространственную решетку.

#### 11.14.2. Эффект Рамана–Ната

Распространение акустической волны в упруго-оптической среде сопровождается появлением в этой среде бегущей периодической последовательности изменений показателя преломления. Если период этой последовательности меньше ширины светового пучка, то в среде происходит дифракция света на бегущей со скоростью звука фазовой дифракционной решетке. Характер этой дифракции существенно зависит от длины области взаимодействия света и звука  $l$ . При достаточно малом  $l$  ( $l/\Lambda \ll 1$ ) дифракционная решетка может рассматриваться как плоская. В этом случае направления на дифракционные максимумы определяются как в обычной плоской дифракционной решетке

$$\sin \psi_m = m\lambda/\Lambda n,$$

где  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ,  $\lambda$  — длина волны света;  $\Lambda$  — длина волны звука;  $n$  — коэффициент преломления;  $\psi_m$  — направление на  $m$ -й дифракционный максимум.

Дифракционная картина представляет собой набор значительного числа дифракционных максимумов, расположенных симметрично относительно направления падающего света. Такой эффект называется эффектом Рамана–Ната и происходит он при любом угле падения света на ультразвуковую волну. При эффекте Рамана–Ната можно считать, что световой луч проходит через область взаимодействия прямолинейно.

Дифракционные модуляторы с нормальным падением световых лучей на плоскость акустического материала (ячейки Рамана–Ната) применяются редко вследствие малой их эффективности, связанной с наличием большого числа дифракционных максимумов и фона недифракционного излучения.

### 11.14.3. Эффект Вульфа–Брэгга

Существенно иной характер имеет дифракция света на ультразвуковой волне при большом  $l$ . Дифракционная решетка в этом случае является трехмерной, и при анализе дифракционной картины необходимо учитывать фазовые соотношения между волнами различных дифракционных максимумов. Характер дифракции света на ультразвуковых волнах с большим  $l$  подобен дифракции рентгеновских лучей на кристаллической структуре. Такая дифракция происходит только при определенном угле падения света на ультразвуковую волну, удовлетворяющем так называемому условию Вульфа–Брэгга

$$\sin \varphi = \lambda / 2\Lambda.$$

Этот эффект носит название эффекта Вульфа–Брэгга. Для него характерно наличие лишь одного бокового дифракционного максимума. При углах падения  $\varphi$  происходит интерференция отраженных волн, приводящая к усилению общего отражения. При углах  $\pm \varphi$  падающий свет возбуждает дополнительный пучок света, направление распространения которого отличается от направления падающего пучка на  $2\varphi$ . Дифракционные модуляторы, выполняющие условие Вульфа–Брэгга (ячейки Брэгга), тогда интенсивности всех дифракционных максимумов, кроме минус первого, становятся пренебрежимо малыми, нашли широкое применение.

Патент РФ № 2.009.513, G 01 R 23/17. Акустооптический анализатор спектра. Угол дифракции оказывается линейно связанным с частотой принимаемого сигнала.

В случае немонохроматического сигнала, характеризующегося некоторым набором частот, акустическая волна каждой из частот этого набора вызывает отклонение оптического луча на определенный угол. При этом как амплитуда, так и фаза каждого отклоненного луча связаны с данной частотной компонентой. Если за акустооптическим модулятором света поместить интегрирующую линзу, то она сфокусирует отклоненные световые лучи и сформирует их изображение в своей задней фокальной плоскости. Это изображение является преобразованием Фурье исследуемого сигнала. В результате данное устройство при сопряжении его с экраном действует как анализатор спектра.

**Патент РФ № 1.838.882, Н 04 В 10/06.** Акустооптический приемник. Данный приемник обеспечивает пеленгацию и спектральный анализ сложных сигналов с фазовой манипуляцией.

#### 11.14.4. Эффект «просвечивания»

Ячейка Брэгга состоит из светозвукопровода и возбуждающей гиперзвук пьезоэлектрической пластины, выполненной из кристалла ниобита лития соответственно X и Y-35° среза. Это обеспечивает автоматическую подстройку по углу Брэгга и работу ячейки в широком диапазоне частот. Сигнал поступает на пьезоэлектрический преобразователь, где происходит его преобразование в акустическое колебание. Пучок света от лазера, сколлимированный коллиматором, проходит через ячейку и дифрагирует на акустическом колебании, возбужденным сигналом. При этом дифрагирует приблизительно 1/10 часть пучка света, а 9/10 — распространяется прямолинейно по оптической оси и не используется. Однако, если на оптической оси установить несколько ячеек Брэгга, то эффективность такой системы увеличивается, а каждая ячейка Брэгга при этом выполняет свои определенные функции. Следовательно, одним пучком света лазера можно «просветить» несколько ячеек Брэгга. Впервые эффект «просвечивания» разработан в авт. свид. № 1.626.182, G 01 R 23/17. Акустооптический анализатор спектра.

#### 11.14.5. Эффект взаимодействия

Эффект взаимодействия проявляется при различном взаимном расположении ячеек Брэгга.

Если две ячейки Брэгга установлены на одной оптической оси вплотную друг к другу с одинаковым направ-

лением распространения в них акустических колебаний и смещены друг относительно друга вдоль оси  $X$  на величину  $\Delta X = V\tau_3$ , где  $V$  — скорость звука,  $\tau_3$  — длительность элементарных посылок, то они образуют акустооптический демодулятор ФМн-сигналов. При этом ширина оптического пучка  $d$ , проходящего через эти ячейки Брэгга, должна удовлетворять условию  $d \ll V\tau_3$ , которое при необходимости легко реализуется фокусировкой лазерного пучка с помощью коллиматора.

Если две ячейки Брэгга установлены на одной оптической оси вплотную друг к другу с различными направлениями распространения в них акустических колебаний, то они образуют акустооптический коррелятор.

Если использовать два акустооптических коррелятора и три антенны, расположенные в виде геометрического прямого угла, то они образуют акустооптический пеленгатор, обеспечивающий точную и однозначную пеленгацию источника излучения сложных сигналов в двух плоскостях.

Указанные выше функциональные блоки реализованы в патенте РФ № 2.046.358, G 01 R 23/16. Акустооптический анализатор спектра.

#### 11.14.6. Эффект двухкоординатной акустооптической обработки сигналов

Данный эффект заключается в том, что пучок света лазера проходит через две ортогонально расположенные ячейки Брэгга, на пьезоэлектрические преобразователи которых подаются напряжения, сдвинутые по времени на величину задержки  $\tau_3$ . В этом случае точка  $M$  пересечения дважды дифрагированного пучка света с плоскостью фотоприемника (плоскость  $X, Y$ ) одновременно перемещается как по координате  $X$ , так и по координате  $Y$ . При этом точка  $M$  перемещается по координате  $X$  по закону  $x = Af(x)$ , а по координате  $Y$  по закону  $y = Bf(t - \tau_3)$ , где  $A, B$  — постоянные, определяемые параметрами акустооптических трактов по координатам  $X$  и  $Y$  соответственно;  $f(t)$  — закон изменения частоты принимаемого сигнала.

При этом перемещение точки  $M$  отображается на экране осциллографа, по характеру которого можно оценить закон частотной модуляции и основные параметры внутримпульсной модуляции принимаемого ЧМ-сигнала.



Эффект двухкоординатной акустооптической обработки сигналов реализован в патенте РФ № 2.080.655, G 06 R 9/00. Устройство для распознавания информационных сигналов.

## **11.15. ЭФФЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С АКУСТОЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ**

### **11.15.1. Приборы на поверхностных акустических волнах**

В основе работы большинства приборов и устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ) лежат три физических процесса:

- 1) преобразование входного электрического сигнала в акустическую волну;
- 2) распространение акустической волны вдоль поверхности звукопровода;
- 3) обратное преобразование ПАВ в электрический сигнал.

Для прямого и обратного преобразования ПАВ используются преобразователи поверхностных акустических волн, наибольшее распространение среди которых получили встречно-штыревые преобразователи.

Акустоэлектронная техника на ПАВ перешла к решению самых сложных и важных задач современной радиолокации, управления и связи, вступила на ту ступень развития, когда уже целые узлы и блоки этих систем стали выполняться на базе акустоэлектронных приборов — новом классе аналоговых устройств обработки, основанном на эффективной передаче энергии от электрических сигналов к механическим волнам, распространяющимся по поверхности твердого тела. Скорость распространения таких поверхностных волн примерно на пять порядков меньше скорости распространения электромагнитных колебаний.

### **11.15.2. Приборы с переносом заряда**

Приборы с переносом заряда объединяют устройства, созданные на основе приборов типа «пожарных цепочек» и приборов с зарядовой связью. Эти приборы, занимая промежуточное положение между цифровыми и аналоговыми, используют последние достижения в той и другой областях и позволяют создавать функционально закон-

ченные устройства, сочетающие высокую стабильность параметров, универсальность и простоту управления с малыми габаритами, массой и энергопотреблением.

### 11.16. ЭФФЕКТЫ ОБРАЗОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ПРИЕМА

В панорамных приемниках и анализаторах спектра одно и то же значение промежуточной частоты  $f_{\text{пр}}$  может быть получено в результате приема сигналов на двух частотах  $f_c$  и  $f_3$ , т. е.

$$f_{\text{пр}} = f_0 - f_r \text{ и } f_{\text{пр}} = f_r - f_3.$$

Следовательно, если частоту настройки  $f_0$  принять за основной канал приема, то наряду с ним будет иметь место зеркальный канал приема, частота  $f_3$  которого отличается от частоты  $f_0$  на  $2f_{\text{пр}}$  и расположена симметрично (зеркально) относительно частоты гетеродина  $f_r$ . Преобразование по зеркальному каналу приема происходит с тем же коэффициентом преобразования  $K_{\text{пр}}$ , что и по основному каналу. Поэтому он наиболее существенно влияет на избирательность и помехозащищенность панорамных приемников и анализаторов спектра.

Кроме зеркального, существуют и другие дополнительные (комбинационные) каналы и канал прямого прохождения. Наиболее вредными комбинационными каналами приема являются каналы, возникающие при взаимодействии несущей частоты сигнала со второй гармоникой частоты гетеродина

$$f_{\kappa 1} = 2f_r - f_{\text{пр}} \text{ и } f_{\kappa 2} = 2f_r + f_{\text{пр}}.$$

Если частота помехи равна или близка к промежуточной частоте, то образуется канал прямого прохождения. В этом случае смеситель выполняет роль простого усилителя.

Наличие ложных сигналов (помех), принимаемых по дополнительным каналам, приводит к снижению помехоустойчивости панорамных приемников и неоднозначности измерения несущей частоты и других параметров сигналов.

Основным методом ослабления приема по зеркальному каналу является улучшение избирательных свойств преобразователя спектра. Решение этой задачи упрощается при выборе более высокой промежуточной частоты, а также путем применения двойного преобразования частоты.

Для подавления ложных сигналов (помех), принимаемых по дополнительным каналам, разработаны различные методы и оригинальные устройства для их реализации:

а) фазокомпенсационный метод (авт. свид. № 1.713.088, Н 03 D 7/16. Преобразователь частоты);

б) метод узкополосной фильтрации (патент РФ № 2.001.533, Н 04 B 10/06. Акустооптический приемник);

в) метод амплитудного и частотного детектирования принимаемого сигнала (патент РФ № 2.007.733, G 01 R 23/16. Анализатор спектра);

г) метод задержанных совпадений (авт. свид. № 1.495.720, G 01 R 23/00. Панорамный измеритель частоты радиосигналов);

д) асинхронный метод (авт. свид. № 1.000.930, G 01 R 23/00. Устройство для измерения частоты входного сигнала панорамного радиоприемника).

Однако с точки зрения расширения диапазона частотного поиска сигналов без расширения диапазона частотной перестройки гетеродина в ряде случаев целесообразно не подавлять, а использовать дополнительные каналы приема.

С этой целью разработаны:

а) метод двухканального приема (патент РФ № 2.010.258, G 01 S 3/46. Пеленгатор);

б) фазокомпенсационный метод (патент РФ № 2.005.993, G 01 L 7/10. Индикаторное устройство);

в) автокорреляционный метод (патент РФ № 2.005.992, G 01 D 7/10. Индикаторное устройство);

г) метод задержанных совпадений (авт. свид. № 1.406.506, G 01 R 23/00. Устройство для измерения частоты входного сигнала панорамного радиоприемника);

д) метод амплитудного и частотного детектирования принимаемого сигнала (патент РФ № 2.025.737, G 01 R 23/00. Устройство для измерения частоты входного сигнала панорамного радиоприемника).

### 11.17. СТРУКТУРНЫЙ ПЕЛЕНГАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ

Фазовому методу пеленгации свойственно противоречие между требованиями к точности измерений и однозначности отсчета угла. Действительно, согласно формулы

$$\Delta\varphi = 2\pi d/\lambda \cos \beta,$$

где  $d$  — расстояние между разнесенными антеннами (измерительная база);  $\lambda$  — длина волны;  $\beta$  — угол прихода радиоволн относительно нормали к базе, пеленгатор тем чувствительнее к изменению угла  $\beta$ , чем больше относительный размер базы  $d/\lambda$ . Но с ростом  $d/\lambda$  уменьшается значение угловой координаты  $\beta$ , при котором разность фаз  $\Delta\varphi$  превосходит значение  $2\pi$ , т. е. наступает неоднозначность отсчета.

Исключить неоднозначность фазового метода пеленгации источника излучения сигналов можно двумя классическими способами: применением антенн с острой диаграммой направленности и использованием нескольких измерительных баз (многошкальность).

Однако для точной и однозначной пеленгации источника излучения ФМн-сигналов может быть использован фазовый пеленгатор, основанный на квадратурной обработке принимаемых сигналов и особенности их внутренней структуры.

**Патент РФ № 2.003.131, G 01 S 3/10. Пеленгатор.**

Именно благодаря использованию квадратурной обработки принимаемых ФМн-сигналов и их внутренней структуры на выходе однополярного вентиля образуется последовательность отрицательных импульсов, длительность которых определяется временем задержки прихода сигналов на две разнесенные антенны. При этом на выходе делителя образуется среднее значение времени задержки

$$\tau_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i}{n},$$

где  $\tau_i$  — длительность  $i$ -го отрицательного импульса на выходе однополярного вентиля;  $n$  — количество измерений (объем выборки).

По измеренному и зафиксированному значению  $\tau_{\text{ср}}$  однозначно определяется угол прихода радиоволн

$$\beta = \arccos \frac{c}{d} \tau_{\text{ср}},$$

где  $c$  — скорость распространения радиоволн.

При этом должно выполняться условие  $\tau_{\text{ср}} < \tau_0$ , где  $\tau_0$  — длительность элементарных посылок.

Для точной и однозначной пеленгации источника излучения ЛЧМ-сигналов можно также использовать внутреннюю структуру данных сигналов.

Патент РФ № 2.044.407, Н 04 В 1/06. Устройство для распознавания импульсных сигналов с внутриимпульсной модуляцией. В предлагаемом устройстве используется модифицированный фазовый метод пеленгации источника излучения импульсных сигналов с внутриимпульсной модуляцией, основанный на перемножении сигналов, принимаемых двумя разнесенными антеннами, выделения напряжения биений, измерении частоты биений  $f_0$  и скорости изменения частоты  $|\dot{f}|$  внутри импульса, по значению которых однозначно определяется угол прихода радиоволн

$$\beta = \arccos \frac{c}{d} \frac{f_0}{|\dot{f}|}.$$

### 11.18. ЭФФЕКТ ПРЯМОГО УГЛА

Для пеленгации источника излучения сигналов в двух плоскостях обычно приемные антенны располагаются так, чтобы их измерительные базы образовывали геометрический симметричный или несимметричный крест. При этом минимальное количество приемных антенн и каналов будет равно четырем.

Если разместить измерительные базы в виде геометрического прямого угла, в вершине которого находится приемная антенна общая для азимутальной (горизонтальной) и угломестной (вертикальной) плоскостей, то минимальное количество приемных антенн и каналов сокращается до трех. При этом изменяется сама идеология и технология пеленгации.

Патент РФ № 2.010.245, G 01 R 23/00. Панорамный приемник. Для точной и однозначной пеленгации источника излучения ФМн-сигналов в каждой плоскости используется две измерительные базы. Меньшая база образует грубую, но однозначную шкалу отсчета угла, а большая база — точную, но неоднозначную шкалу отсчета. При этом используется один информационный и четыре пеленгационных канала, а следовательно, пять антенн вместо восьми (при расположении антенн в виде классического креста). В информационном канале осуществляется двойное преобразование частоты принимаемого сигнала, его детектирование и измерение основных парамет-

ров. Напряжение второй промежуточной частоты измерительного (информационного) канала перемножается с напряжением первой промежуточной частоты пеленгационных каналов. Все это обеспечивает свертку спектра принимаемых ФМн-сигналов, узкополосную фильтрацию канальных гармонических напряжений и повышение чувствительности приемника. Пеленгация источника излучения ФМн-сигналов осуществляется на стабильной частоте второго гетеродина. Поэтому нестабильность несущей частоты принимаемых сигналов, вызванная различными дестабилизирующими факторами, не влияет на результат пеленгации. Кроме того, такой метод пеленгации инвариантен не только к нестабильности несущей частоты, но и к виду модуляции (манипуляции) принимаемых сигналов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зильберман Г. Е. Электричество и магнетизм. — М.: Наука, 1970.
2. Физический энциклопедический словарь. — М., 1976.
3. Дорофеев А. Л. Вихревые токи. — М.: Энергия, 1977.
4. Болотовский Б. М. Свечение Вавилова-Черенкова. — М.: Наука, 1964.
5. Дикарев В. И. Методы и средства технического анализа сигналов. Учебник. — СПб., 1999.
6. Дикарев В. И. Технический анализ и распознавание сигналов. Учебное пособие. — Л., 1986.
7. Дикарев В. И. Современные методы и алгоритмы детектирования сигналов. Учебное пособие. — Л., 1988.
8. Дикарев В. И., Койнаш Б. В., Макаров О. А. Акустооптика и ее техническое применение. Учебное пособие. — СПб., 1999.
9. Кузичкин А. В., Нахмансон Г. С. Анализ и обработка радиосигналов акустооптическими и акустоэлектронными системами. Учебное пособие. — МО СССР, 1984.
10. Балякин И. А. и др. Приборы с переносом заряда в радиотехнических устройствах обработки информации. — М., 1987.
11. Патенты РФ №№ 2.003.989, 2.044.407, 2.014.622, 2.003.117, 2.009.513, 2.024.026, 2.007.046, 2.006.872, 2.051.425, 2.010.435, 2.012.010, 2.012.847 и др.

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА**

### **12.1. ДИЭЛЕКТРИКИ**

#### **12.1.1. Изоляторы и полупроводники**

Диэлектриками являются неионизированные газы, а также жидкости и твердые тела, характеризующиеся полностью заполненной электронами валентной зоной. Если заполнения полностью электронами на уровне зоны проводимости не происходит, то такие вещества ведут себя как изоляторы. При наличии такого возбуждения (в случаях малой энергетической щели между зонами) вещества являются полупроводниками. Диэлектрики и полупроводники экспоненциально уменьшают свое объемное сопротивление при повышении температуры.

Авт. свид. № 515.075, G 01 R 31/08. Способ определения обрыва жилы кабеля с изоляцией, сопротивление которой зависит от температуры, например, жаростойкого кабеля с магнезальной изоляцией, при котором воздействуют сигналом, выявляющим повреждения, на последовательные участки кабеля, а о местонахождении дефекта судят по реакции, возникающей на конце кабеля в момент подачи сигнала на дефектное место, отличающийся тем, что, с целью упрощения отыскивания места обрыва, на кабель воздействуют тепловым сигналом, например, теплом от газо-воздушной горелки, а о месте повреждения судят по изменению сопротивления изоляции кабеля.

#### **12.1.2. Сопротивление электрическому току**

Если материал претерпевает те или иные превращения, его сопротивление электрическому току меняется.

Авт. свид. № 414.528, G 01 N 27/48. Способ определения относительно связанной поверхности волокон в листе бумаги путем измерения электросопротивления, отличающийся тем, что, с целью повышения точности и упроще-

ния методики измерений, образец бумаги подвергают линейному деформированию в продольном направлении расположения волокон с одновременной регистрацией электросопротивления, после чего определяют отношение разности измерения электросопротивлений деформированного образца бумаги.

Расплавы некоторых диэлектриков — проводники, в частности, хорошо пропускает ток расплавленное стекло.

### 12.1.3. Тепловые потери

В диэлектрике, помещенном в переменное электромагнитное поле, часть энергии поля переходит в тепловую. Эта доля пропорциональна тангенсу угла диэлектрических потерь.

**Патент Австралии № 420.764.** Способ термического срачивания материалов. Предлагается усовершенствованный метод срачивания посредством диэлектрического нагрева термопластических материалов, имеющих малые коэффициенты диэлектрических потерь (пропилен, полипропен и др.). При этом между наложенными друг на друга краями соединенных внахлестку листов материала закладывается вставка, эффективно выделяющая тепло при воздействии электрического поля ВЧ, которое создается между электродами, прижимающими срачиваемый участок. Тепловыделяющие вставки, имеющие форму прутка или квадратных пластинок, изготавливаются из газогенерируемых полимеров (например, полимеры и сополимеры флористого винила, фтористого винила и др.) и располагаются вдоль соединяемых краев листа. Тепло, выделяемое вставками под действием электрического поля ВЧ, нагревает и размягчает материал в зоне соединения, благодаря чему он при нажатии электродов обжимается вокруг вставки и срачивается в сплошную массу.

Все виды нагрева диэлектриков в электрических полях описаны именно на этом эффекте.

**Авт. свид. № 527.407, С 04 В 41/28.** Способ изготовления бетонополимерных изделий, заключающийся в ушке бетонных элементов с вакуумированием, пропитке под давлением и последующей термokatалитической полимеризации, отличающийся тем, что, с целью равномерного прогрева изделия и сокращения продолжительности процесса, термokatалитическую полимеризацию осуществляют при дополнительном воздействии электрического поля высокой частоты в диапазоне 1...150 МГц.



## 12.2. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Диэлектрическая проницаемость диэлектриков зависит от многих факторов. По ее изменению можно контролировать ход различных процессов в диэлектриках.

Авт. свид. № 497.520. Способ определения времени пропитки пористых материалов, заключающийся в погружении контролируемого образца торцом в контрольную жидкость и отсчета времени пропитки, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, образец пористого материала помещают в датчик измерительной аппаратуры, например, между обкладками конденсаторов, а время пропитки отсчитывают от момента начала до момента прекращения изменения электрических свойств образца.

### 12.2.1. Частотная зависимость

Диэлектрические свойства вещества зависят от частоты. Один и тот же материал при воздействии на него поля низкой частоты — диэлектрик, поля высокой частоты — проводник.

## 12.3. ПРОБОЙ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Пробой диэлектриков носит либо тепловой, либо электрический — лавинный характер. Механизм теплового пробоя — постепенный разогрев участка диэлектрика, падения его сопротивления и термическое разрушение материала.

Авт. свид. № 218.805, D 06 H 10/00. Способ электро-раскрытия материала, например, ткани, с помощью электрода, выполненного по форме выкройки, отличающийся тем, что, с целью ускорения технологического процесса раскрытия, повышения точности раскрытия и сокращения отходов материала, раскрой производят расщеплением материала на ионы током высокого напряжения 10 кВ, проходящим через раскраиваемый материал между неподвижным электродом и другим электродом по линии электропроводимой схемы, перемещаемым по другую сторону раскраиваемого материала.

## 12.4. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ДИЭЛЕКТРИКАХ

### 12.4.1. Электрострикция

Общим электромеханическим эффектом для всех диэлектриков является электрострикция. Она проявляется в упругом (обратимом) превращении энергии тела в электрическом поле и для свободного тела сопровождается увеличением его размеров.

### 12.4.2. Пьезоэлектрический эффект (пьезоэффект)

Это также электромеханический эффект, однако, он наблюдается не во всех диэлектриках, а только в нецентросимметричных кристаллах. Причем, в отличие от электрострикции, пьезоэффект обратим. Он может быть прямым и обратным. Прямой пьезоэффект проявляется в образовании зарядов на поверхности твердого тела под воздействием механических напряжений.

Лампу-вспышку зажигает удар. Польский изобретатель Тадеуш Косецкий предложил использовать пьезокристалл в качестве источника энергии для лампы-вспышки. Под действием быстрого сильного удара по кристаллу на нем возникает электрическое напряжение. По расчетам изобретателя, его вполне должно хватить для зажигания лампы. Никаких батарей для такого «блица» вообще не понадобится, всю необходимую для лампы энергию даст механический удар по кристаллу.

Патент ФРГ № 1.218.216. Пьезоэлектрическое устройство для зажигания с кулачковым приводом, предназначенное для двигателей внутреннего сгорания, отличающееся тем, что кулачковый привод постоянно имеет кинематическое соединение и периодически динамическое соединение с известным пружинным аккумулятором и взаимодействует с ним. Пружинный аккумулятор соединен с подвижным концом пьезоэлектрического элемента.

### 12.4.3. Обратный пьезоэффект

Обратный пьезоэффект аналогичен эффекту электрострикции, однако, если при электрострикции деформация тела не зависит от закона электрического поля, для пьезоэффекта такая зависимость имеет место. Практически можно считать, что пьезоэффект линеен, а электрострикция является квадратичным эффектом.

**Патент США № 3.239.283.** Предлагается конструкция подшипника, в котором трение уничтожается вибрацией. Втулки подшипника выполняются из пьезоэлектрического материала и с обеих сторон покрываются тонкой электропроводной фольгой. К фольге припаиваются тонкие электроды, по которым подводится переменный ток. А ток заставляет пьезоэлектрик сжиматься и расширяться, создавая вибрацию, уничтожающую трение.

В некоторых случаях используется одновременно и прямой, и обратный пьезоэффект, например, в пьезоэлектрических трансформаторах.

## 12.5. ПИРОЭЛЕКТРИКИ

В некоторых кристаллах суммарный дипольный момент отличен от нуля даже в отсутствие внешнего электрического поля. Такого рода кристаллы называют самопроизвольно или спонтанно поляризованными кристаллами. Другое название этих кристаллов — пирозлектрики. Это название появилось потому, что пирозлектрики обнаруживают по возникновению заряда на их поверхности при нагревании или охлаждении. С помощью пирозлектриков можно измерять изменение температуры на  $10^{-6}$  градуса.

**Авт. свид. № 288.356, G 01 K 17/08.** Устройство для определения тепловых потоков, содержащее термоэлементы, расположенные на гранях дополнительной стенки, перпендикулярных направлению потока, и измерительную схему, отличающуюся тем, что, с целью повышения точности и быстродействия, в нем термоэлементы выполнены в виде пирозлектрических датчиков температуры и включены в частотнозависимую цепь обратной связи измерительной схемы.

Пирозлектрический эффект обычно усложняется тем, что каждый пьезоэлектрический кристалл является одновременно и пьезоэлектриком. Поэтому неоднократное изменение температуры кристалла вызывает деформацию, а последняя порождает «вторичную» поляризацию пьезоэлектрического происхождения, налагающую на «первичную» пирозлектрическую поляризацию.

### 12.5.1. Сегнетоэлектрики

В пирозлектрических кристаллах может наблюдаться электрокалорический эффект — изменение температуры пирозлектрика, вызванное изменением величины элект-

рического поля (например, при внесении пирозлектрика в электрическое поле). Сегнетоэлектрики — частный случай пирозлектриков.

Авт. свид. № 276.499, G 01 N 23/10. Способ детектирования в газовой хроматографии путем каталитического сжигания компонентов анализируемой смеси, отличающийся тем, что, с целью увеличения чувствительности и непосредственного измерения производной концентрации анализируемого вещества во времени, сжигание производят на поверхности сегнетоэлектрика и измеряют возникающие при этом электрические заряды.

### 12.5.2. Сегнетоэлектрическая температура Кюри

В сегнетоэлектриках также самопроизвольно возникает поляризация, но только в некотором интервале температур. Температура, при которой происходит исчезновение спонтанной поляризации, называется сегнетоэлектрической температурой Кюри. При температуре Кюри в сегнетоэлектриках наблюдается максимум диэлектрической проницаемости, а ее изменение вблизи этой температуры происходит скачками (сравните с эффектами Гопкинса и Баркгаузена). Выше температуры Кюри сегнетоэлектрик переходит в параэлектрическое состояние.

Авт. свид. № 238.185, G 01 F 23/10. Устройство для измерения расхода, скорости потока жидкости или газа, содержащее термочувствительный датчик с нагревательным элементом и схему измерения температуры, отличающееся тем, что, с целью обеспечения работы в агрессивных средах, повышения быстродействия и точности измерения, термочувствительный элемент датчика выполнен в виде термоконденсатора из сегнетоэлектрика, точка Кюри которого ниже рабочей температуры.

Сегнетоэлектрики — это электрические аналоги ферромагнетиков, которые, как известно, самопроизвольно намагничиваются и имеют точку Кюри. Поэтому сегнетоэлектрики иногда называют ферроэлектриками. Они отличаются большой диэлектрической проницаемостью, высоким пьезоэффектом, наличием петли диэлектрического гистерезиса, интенсивными электрооптическими свойствами.

Авт. свид. № 282.405, H 04 N 1/22. Сканирующее устройство оптического диапазона, содержащее зонную пьезоэлектрическую пластину с системой электродов, на которую подано отклоняющее напряжение, и коллимирующее

устройство, отличающееся тем, что, с целью уменьшения необходимого отклоняющего напряжения и оптических потерь, зонная пластина изготовлена из сегнетоэлектриков моноклинной системы, у которых пьезоэффекты по взаимноперпендикулярным направлениям различны, а зоны Френеля нанесены на поверхность пластины в виде чередующихся отражающих и неотражающих покрытий в форме эллипсов, главные оси которых ориентированы вдоль направлений пьезоэффектов пластины.

### 12.5.3. Антисегнетоэлектрики

Кроме сегнетоэлектриков, которые можно рассматривать как совокупность параллельно ориентированных диполей, есть вещества с антипараллельным расположением диполей. Их называют антисегнетоэлектрики.

При наложении достаточно сильного электрического поля антисегнетоэлектрики могут перейти в сегнетоэлектрическое состояние. При таком «вынужденном» фазовом переходе в сильном переменном поле наблюдаются двойные петли гистерезиса.

Критическое поле, при котором в антисегнетоэлектриках возникает сегнетоэлектрическая фаза, уменьшается при увеличении температуры. В некоторых случаях с ростом температуры наблюдаются переходы из сегнетоэлектрического состояния в антисегнетоэлектрическое, а затем в параэлектрическое.

### 12.5.4. Сегнетоферромагнетики

Сегнетоферромагнетики — это сегнетоэлектрики, в которых наблюдается упорядочение магнитных моментов. В них могут существовать различные виды электрического и магнитного упорядочения: сегнетоэлектричество или антисегнетоэлектричество с ферромагнетизмом, антиферромагнетизмом или ферромагнетизмом.

## 12.6. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

### 12.6.1. Сдвиг температуры Кюри

Наложение электрического поля вдоль полярной оси увеличивает устойчивость сегнетоэлектрического состояния, расширяет область температур, в которой существует спонтанная поляризация. В антисегнетоэлектриках в

сильных электрических полях температура Кюри понижается.

Некоторые сегнетоэлектрики выше точки Кюри обладают пьезоэффектом. Приложение к таким веществам в параэлектрической фазе механического напряжения по эффекту эквивалентно приложению электрического напряжения.

Авт. свид. № 415.617, В 23 Р 19/04. 1. Способ измерения напряженности электрического поля путем изменения диэлектрической проницаемости сегнетоконденсатора, помещенного в исследуемое поле, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, диэлектрическую проницаемость доводят до точки Кюри, стабилизируют ее вблизи этой точки, периодически деформируют тело сегнетоконденсатора, перемещают точку Кюри и выделяют электрический сигнал, имеющий частоту механических деформаций, по которому судят о напряженности измеряемого электрического поля.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что периодическую деформацию тела сегнетоконденсатора производят при помощи ультразвукового акустического поля.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что периодическую деформацию тела сегнетоконденсатора производят при помощи знакопеременного электрического поля. В водородосодержащих сегнетоэлектриках наложение гидростатического давления повышает точку Кюри.

### 12.6.2. Аномалии свойств при фазовых переходах

Если в сегнетоэлектрике наблюдаются низкотемпературные переходы, на кривых температурных зависимостей диэлектрических свойств обычно наблюдаются аномалии, соответствующие этим переходам. Антисегнетоэлектрический фазовый переход сопровождается аномалией теплоемкости (у цирконата свинца — 400 ккал/моль); может наблюдаться аномальное изменение объема и коэффициента теплового расширения.

### 12.6.3. Пироэффект в сегнетоэлектриках

При нагреве сегнетоэлектрического кристалла происходит уменьшение спонтанной поляризации, что эквивалентно появлению пироэлектрического заряда на поверхности кристалла.

Патент Великобритании № 1.335.955. Электрическое измерение давления. Датчик давления состоит из тела,

выполненного из пьезоэлектрического вещества, диэлектрическая постоянная которого зависит от приложенного давления, при этом температура измерительного тела стабилизируется подачей переменного напряжения на пьезоэлектрический элемент, имеющий тепловую связь с измерительным телом.

Новый тип сегнетоэлектрического нелинейного элемента — тактандел — температурно автостабилизированный диэлектрический нелинейный элемент — сам стабилизирует свою температуру вблизи точки Кюри.

На возрастании электросопротивления в области температуры Кюри основаны сегнетоэлектрические термосопротивления с положительным температурным коэффициентом — позисторы.

### 12.7. ЭЛЕКТРЕТЫ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АНАЛОГИ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Они длительно сохраняют наэлектризованное состояние и создают вокруг себя электрическое поле. Электреты получаются либо охлаждением предварительно нагретого диэлектрика (воска, церезина, нейлона и т. д.) в сильном электрическом поле, либо освещением (или радиоактивным облучением) фотопроводящих диэлектриков также в сильном поле. Применение электретов связано, в основном, с наличием у них постоянного электрического поля.

Авт. свид. № 115.132. Индивидуальный дозиметр радиоактивного излучения и другого проникающего излучения, состоящий из приемника излучения и измерительного прибора, отличающийся тем, что, с целью обеспечения возможности определения суммарной дозы излучения за требуемый промежуток времени, его приемник выполнен в виде электрета, заключенного в герметический корпус, содержащий газ, например, воздух. Здесь излучение ионизирует газ, ионы которого разряжают электрет.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кухаркин Е. С. Основы инженерной электрофизики. Т. 1, 2. — М.: Высшая школа, 1969.
2. Зильберман Е. Е. Электричество и магнетизм. — М.: Наука, 1970.
3. Лавриненко В. В. Пьезоэлектрические трансформаторы. — М.: Энергия, 1975.
4. Смоленский Г. А., Крайник Н. Н. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. — М.: Наука, 1968.

## МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

### 13.1. МАГНЕТИКИ

Всякое вещество является магнетиком, т. е. способно под действием магнитного поля приобретать магнитный момент (намагничиваться). По величине и направлению этого момента, а также по причинам, его породившим, все вещества делятся на группы. Основные из них — диа- и парамагнетики.

#### 13.1.1. Диамагнетики

Молекулы диамагнетика собственного магнитного момента не имеют. Он возникает у них только под действием внешнего магнитного поля и направлен против него. Таким образом результирующее магнитное поле в диамагнетике меньше, чем внешнее магнитное поле, правда, на очень малую величину. Это приводит к тому, что при перемещении диамагнетика в неоднородное магнитное поле он стремится сместиться в ту область, где напряженность магнитного поля меньше.

Патент США № 3.611.815. Гироскопическая система, практически свободная от трения, содержит цилиндрический ротор, концы которого окружены парой кольцевых постоянных магнитов. На каждом конце ротора установлена вставка из диамагнитного материала, взаимодействующая с соответствующим постоянным магнитом так, что создаются отталкивающие магнитные силы, которые удерживают ротор в состоянии, характеризующимся отсутствием физического контакта ротора с магнитом: ротор «всплывает» в магнитном поле практически без трения.

#### 13.1.2. Парамагнетики

Молекулы (или атомы) парамагнетика имеют собственные магнитные моменты, которые под действием внешних полей ориентируются по полю и тем самым создают



результатирующее поле, превышающее внешнее. Парамагнетики втягиваются в магнитное поле.

Так, например, жидкий кислород — парамагнетик, он притягивается к магниту.

Магнитная проницаемость конкретного вещества зависит от многих факторов: напряженности магнитного поля, формы рассматриваемого поля. Так как конечные размеры любого магнетика приводят к появлению встречного поля, уменьшающего первоначальное, температуры, частоты изменения магнитного поля, наличия дефектов структуры и т. д.

**Патент Великобритании № 1.343.270.** Способ измерения температуры, например, стальных пластин, окрашенных виниловыми красителями. Температура пластин определяется по изменениям их магнитной проницаемости и проводимости, которые воспринимаются индуктивным зондом, подключенным к генератору.

**Авт. свид. № 512.224, G 09 J 5/00.** 1. Способ склеивания ферромагнитных материалов, включающий операцию нанесения клея на склеиваемые поверхности, соединение поверхностей, полного отверждения клея, **отличающийся** тем, что, с целью увеличения прочности склеивания, в период выдержки раздельно проводят обработку каждой из двух склеиваемых поверхностей с нанесением на них слоем клея постоянными магнитными полями противоположной полярности с напряженностью от 500 до 700 эрстед.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что, в период отверждения на клеевой шов воздействуют магнитным полем, совпадающим по направлению с полем остаточного магнетизма.

**Авт. свид. № 185.003, F 23 J 5/00.** Способ обработки внутренних поверхностей труб, включающий операции по введению внутрь трубы абразива в виде мелкозернистого или порошкообразного вещества высокой твердости, перемещения этого абразива относительно внутренней поверхности трубы при их взаимном-контакте и последующего извлечения из трубы полученного порошкообразного продукта, **отличающийся** тем, что, с целью улучшения качества обработки трубы и для ее нагрева, ферромагнитный абразив после его введения внутрь трубы подвергается воздействию вращающегося электромагнитного поля, созданного вокруг трубы.

Здесь используется эффект втягивания ферромагнетика в то место поля, где магнитные силовые линии «гуще»; так как поле вращается, то вращаются и частицы.

### 13.1.3. Точка Кюри

Существование доменов в ферромагнетиках возможно только ниже определенной температуры (точка Кюри). Выше точки Кюри тепловое движение нарушает упорядоченную структуру доменов, и ферромагнетик становится обычным парамагнетиком.

**Патент ФРГ № 1.243.791.** Термолюминесцентный дозиметр, содержащий дозиметрический элемент, заключенный в герметизированную прозрачную камеру и снабженный носителем люминесцентного материала, нагреваемый индукционным путем, отличающийся тем, что носитель содержит ферромагнитный материал, точки Кюри которого, характеризующие фазовый переход второго рода, соответствуют определенной максимальной температуре.

Диапазон температур Кюри для ферромагнетиков очень широк. Практически всегда можно подобрать вещество с нужной температурой Кюри.

**Авт. свид. № 266.029, Н 02 К 5/00.** Магнитная муфта скольжения, содержащая корпус и многополюсный ротор с постоянными магнитами, отличающаяся тем, что, с целью автоматического включения муфты при заданной температуре, она снабжена шунтами, установленными между полюсами ротора и выполненными из термореактивного материала, имеющего характеристику магнитной проницаемости с точкой Кюри, соответствующей заданной температуре, а корпус и ротор изготовлены из материала с точкой Кюри, соответствующей температуре выше заданной.

При понижении температуры все парамагнетики, кроме тех, у которых парамагнетизм обусловлен электронами проводимости, переходят либо в ферромагнитное, либо в антиферромагнитное состояние.

### 13.1.4. Антиферромагнетики

У некоторых веществ (хром, марганец) собственные магнитные моменты электронов ориентированы антипараллельно (навстречу) друг другу. Такая ориентация охватывает соседние атомы и их магнитные моменты компенсируют друг друга. В результате антиферромагнетики обладают крайне малой магнитной восприимчивостью и ведут себя как очень слабые парамагнетики.

### 13.1.5. Точка Нееля

Для антиферромагнетиков также существует температура, при которой антипараллельная ориентация спинов исчезает. Эта температура называется антиферромагнитной точкой Кюри или точкой Нееля.

У некоторых ферромагнетиков (эрбия, диспрозия, сплавов марганца и меди) таких температур две (верхняя и нижняя точка Нееля), причем антиферромагнитные свойства наблюдаются только при промежуточных температурах. Выше верхней точки вещество ведет себя как парамагнетик, а при температурах, меньших нижней точки Нееля, становится ферромагнетиком.

### 13.1.6. Температурный магнитный гистерезис

Необратимое изменение намагниченности ферромагнитного образца, находящегося в слабом постоянном магнитном поле, при циклическом изменении температуры называется температурным магнитным гистерезисом. Наблюдается два вида гистерезиса, вызванных изменением доменной и кристаллической структуры. Во втором случае точка Кюри при нагреве лежит выше, чем при охлаждении.

Авт. свид. № 467.314, G 03 G 5/00. Способ записи оптических изображений на ферромагнитную пленку, заключающийся в ее экспонировании, отличающийся тем, что, с целью упрощения процесса записи путем исключения операции по намагничиванию пленки, экспонирование пленки осуществляют в интервале от температуры Кюри при нагреве до температуры Кюри при охлаждении.

Авт. свид. № 515.169, H 01 F 7/02. Способ сборки ферритовых постоянных магнитов в систему с предварительным намагничиванием каждого магнита, отличающийся тем, что, с целью исключения потери намагниченности при сборке, перед операцией намагничивания каждый постоянный магнит нагревают до температуры, при которой кривые возврата совпадают с кривой размагничивания.

### 13.1.7. Ферромагнетизм

Это совокупность магнитных свойств веществ (ферромагнетиков) в твердом состоянии, обусловленных наличием внутри тела межэлектронного обменного взаимодействия, стремящегося создать антипараллельную ориента-

цию соседних атомных магнитных моментов. В отличие от антиферромагнетиков, соседние противоположно направленные магнитные моменты в силу каких-либо причин не полностью компенсируют друг друга. Поведение ферромагнетика во внешнем поле во многом аналогично антиферромагнетику, но температурная зависимость свойств имеет иной вид: иногда существует точка компенсации суммарного магнитного момента при температуре ниже точки Нееля. По электрическим свойствам ферромагнетики — диэлектрики или полупроводники.

### 13.1.8. Суперпарамагнетизм

Это квазипарамагнитное поведение систем, состоящих из совокупности экстремально малых ферро- или ферри-магнитных частиц. Частицы этих веществ при определенных малых размерах переходят в однодоменное состояние с однородной самопроизвольной намагниченностью по всему объему частицы. Совокупность таких частиц ведет себя по отношению к воздействию внешнего магнитного поля и температуры подобно парамагнитному газу (сплавы меди с кобальтом, тонкие порошки никеля и т. п.).

Очень малые частицы антиферромагнетиков (супермагнетизы) также обладают особыми свойствами, поскольку в них происходит нарушение полной компенсации магнитных моментов. Аналогичными свойствами обладают и тонкие ферромагнитные пленки.

Супермагнетизы применяются в тонких структурных исследованиях, в методах неразрушающего определения размеров, форм, количество и состав магнитной фазы и т. п.

### 13.1.9. Пьезомагнетики

Это вещества, у которых при наложении упругих напряжений возникает спонтанный магнитный момент, пропорциональный первой степени величины напряжений. Этот эффект весьма мал и легче всего его обнаружить в антиферромагнетиках.

### 13.1.10. Магнитоэлектрики

Вещества, у которых при помещении их в электрическое поле возникает магнитный момент, пропорциональный значению поля.

## 13.2. МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Представляет собой изменение температуры магнетика при его намагничивании. Для парамагнетика увеличение поля приводит к увеличению температуры, что используется для получения сверхнизких температур методом адиабатического размагничивания парамагнитных солей.

## 13.3. МАГНИТОСТРИКЦИЯ

Изменение размеров тела, вызванное изменением его намагниченности, называют магнитострикцией (объемной или линейной). Величина эффекта для объемной магнитострикции —  $3 \cdot 10^{-5}$ , для линейной —  $10^{-4}$ .

Авт. свид. № 517.927. Устройство для юстировки блока магнитных головок, содержащее рычаг с закрепленными на его конце указанными блоками, и источник напряжения, под воздействием потенциалов которого осуществляется перемещение рычага, отличающееся тем, что, с целью повышения точности юстировки в направлении, перпендикулярном поверхности рабочего слоя магнитного носителя, оно снабжено пружиной, скрепленной с другим концом рычага, фиксирующим его положение зажимом, и соленоидом, при этом рычаг выполнен в виде магнитострикционного стержня и помещен своей средней частью в полости соленоида.

Этот эффект сильно зависит от состояния компонентов в сплаве и от температуры.

Необычное применение эффекта для нагрева.

Авт. свид. № 550.771, Н 05 В 5/08. Установка для индукционного нагрева текучих сред, содержащая массивный сердечник с продольными каналами для прохождения среды и обхватывающие его коаксиально установленные изоляционную трубку и индуктор, подключенный к источнику переменного тока, отличающийся тем, что, с целью интенсификации нагрева путем деформации кристаллической решетки материала сердечника, индуктор дополнительно подключен к источнику постоянного тока.

### 13.3.1. Термострикция

— магнитострикционная деформация ферро-, ферри- и антиферромагнитных тел при нагревании их в отсутствие магнитного поля. Эта деформация способствует изменению самопроизвольной намагниченности с нагревом.

Она особенно велика вблизи точек Кюри и Нееля, так как здесь особенно сильно изменяется намагниченность. Наложение термострикции на обычное тепловое расширение приводит к аномалии в ходе теплового расширения. В некоторых ферромагнетиках и антиферромагнетиках эти аномалии очень велики.

### **13.4. МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ**

Это явление намагничивания ряда веществ в антиферромагнитном состоянии электрическим полем и их электрическая поляризация магнитным полем (открытие № 123). Этот эффект обусловлен специфической симметрией расположения магнитных моментов в кристаллической решетке вещества.

Этот эффект позволяет получать сведения о магнитной структуре вещества без сложных и нейтронографических исследований и применяется в волноводных устройствах СВЧ.

### **13.5. ГИРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ**

В основе гиромагнитных или магнитомеханических явлений лежит вращение электронов вокруг ядра. Суть этих явлений заключается в том, что намагничивание магнетика приводит к его вращению (эффект Эйнштейна и де Хааса) и, наоборот, вращение магнетика вызывает его намагничение.

**Патент США № 3.822.364.** Способ компенсации влияния гиромагнитного эффекта при угловом перемещении магнитометра результирующего поля, находящегося на самолете, и прибор для его осуществления, обеспечивает компенсацию влияния гиромагнитного эффекта и магнитометра результирующего поля, который имеет отчитывающую обмотку. Гиромагнитный эффект возникает в результате углового перемещения относительно данного направления, совершаемого самолетом, на котором находится магнитометр. Вырабатывается электрический сигнал, величина которого пропорциональна угловой скорости самолета относительно данного направления. В отсчеты магнитометра вводится пропорциональная этому сигналу коррекция, которая учитывает также угол между указанным выше направлением силовых линий измеряемого поля.

### 13.6. МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Магнитоакустические эффекты (магнитоупругие взаимодействия) в ферритах-гранитах возникают в результате взаимодействия между спинами магнитных ионов и упругими колебаниями решетки, т. е. в результате тех же взаимодействий, что и магнитострикционные эффекты.

Авт. свид. № 528.497, G 01 N 29/04. Волоконный звукопровод, состоящий из волокон звукопроводящего материала, собранных по концам в жгут, отличающийся тем, что, с целью увеличения стабильности эксплуатационных характеристик, волокна выполнены из ферромагнитного материала и намагничены на требуемом участке звукопровода по всему его сечению в одном направлении.

Авт. свид. № 428.634, G 01 L 1/06. Способ измерения частоты механических колебаний объекта, основанный на совпадении составляющей вибрации с частотой собственных колебаний одного из нескольких упругих элементов, жестко связанный с объектом, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения, жесткость упругого элемента изменяют магнитным полем с симметричной магнитодвижущей силой, напряженность которого изменяют пилообразным током, и по величине тока в момент резонанса определяют частоту механических колебаний объекта.

### 13.7. ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

Это электронный магнитный резонанс в ферромагнетиках — совокупность явлений, связанных с избирательным поглощением ферромагнетиками энергии электромагнитного поля при частотах, совпадающих с собственными частотами прецессии магнитных моментов электронной системы во внутреннем эффективном магнитном поле.

Авт. свид. № 284161, G 01 R 21/06. Способ измерения мгновенного значения тока путем сравнения с постоянным током, отличающийся тем, что, с целью увеличения быстродействия и точности измерения, ферритовый элемент выводят из режима ферромагнитного резонанса, помещая его в магнитное поле измеряемого постоянного тока, возвращают его в режим феррорезонанса, изменяя постоянный ток, и по величине постоянного тока судят о мгновенном значении измеряемого параметра.

Авт. свид. № 256.340, G 01 N 3/09. Способ определения ферромагнитных примесей в диэлектрической среде, на-

пример, в кристаллах синтетических алмазов, методом ферромагнитного резонанса, отличающийся тем, что, с целью повышения чувствительности определения, испытуемый образец нагревают и по температуре исчезновения линий ферромагнитного резонанса поглощения судят о типе примесей.

### 13.8. АНОМАЛИИ СВОЙСТВ ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ

Вблизи точек Кюри и Нееля у магнетиков наблюдаются сильные аномалии в изменении различных свойств при изменении температуры. Для ферромагнетиков это — эффекты Гопкинса (возрастание магнитной восприимчивости вблизи точки Кюри) и Баркгаузена (ступенчатый ход кривой намагниченности образца вблизи температуры Кюри при изменении температуры, упругих напряжений или внешнего магнитного поля).

Авт. свид. № 425.142, G 01 R 33/12. Способ измерения максимальной дифференциальной магнитной проницаемости в ферромагнитных материалах, основанный на подсчете числа скачков Баркгаузена на восходящей ветви петли гистерезиса, отличающийся тем, что, с целью повышения точности и упрощения процесса измерения, уменьшают напряженность магнитного поля до величины, при которой число скачков Баркгаузена на нисходящей ветви петли гистерезиса станет равным половине общего числа скачков. При этом значении уменьшают напряженность магнитного поля на заданную величину и измеряют приращение индукции, по величине которой определяют максимальную дифференциальную магнитную проницаемость.

Кроме того, вблизи точки Кюри наблюдается ферромагнитная аномалия теплоемкости. Это дает возможность определять температуру Кюри в отсутствие магнитного поля. Близкие эффекты наблюдаются и в антиферромагнетиках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кринчик Г. С. Физика магнитных явлений. — М., 1976.
2. Физический энциклопедический словарь. Т. 5.
3. Таблицы физических величин. — М., 1976.
4. Авт. свид. №№ 239.633, 476.437, 449.292, 426.183, 454.434, 454.435, 504.103, 466.574, 538.284 и др.; патенты США №№ 3.783.370, 3.797.224; патент Франции № 2.189.740; патент Великобритании № 1.314.155 и др.



## **КОНТАКТНЫЕ, ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭМИССИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ**

### **14.1. КОНТАКТНАЯ РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ**

При контактах двух разных металлов один из них заряжается положительно, другой — отрицательно, и между ними возникает разность потенциалов, называемая контактной. Она не очень мала — от десятых долей вольт до нескольких вольт и зависит только от химического состава и температуры контактирующих тел (закон Вольта).

Авт. свид. № 508.550, С 22 В 1/16. Способ контроля качества спекания агломерационной шихты путем измерения электрических характеристик спекаемого материала, отличающийся тем, что, с целью повышения быстродействия, непрерывности контроля качества, исключения влияния влажности исходной шихты, измеряют абсолютное значение электрического напряжения между корпусом спекательного агрегата и спеченным материалом и сравнивают эту величину с абсолютной величиной электрического напряжения, полученной при спекании материала с эталонными характеристиками.

Контактная разность потенциалов возникает не только между двумя металлами, но и между двумя полупроводниками, полупроводником и металлом, двумя диэлектриками и т. д., причем соприкасающиеся тела могут быть не только твердыми, но и жидкими.

#### **14.1.1. Трибоэлектричество**

В основе трибоэлектричества (электризации тел при трении) также лежат контактные явления. Причем знаки зарядов, возникающих при трении двух тел, определяются их составом, плотностью, диэлектрической проницаемостью, состоянием поверхности и т. д. Трибоэлектричество возникает при просеивании порошков, разбрызгивании жидкостей, трении газов о поверхности тел и других подобных случаях.

Авт. свид. № 224.151, G 01 N 34/04. Способ испытания органических жидкостей на электризацию, например нефтепродуктов, путем создания в них трением электростатического потенциала, отличающийся тем, что, с целью одновременного определения скорости образования и скорости утечки возникающих зарядов, образование зарядов происходит путем вращения твердого тела, помещенного в исследуемую жидкость.

Другой интересный пример — электростатический коагулятор. Он предназначен для очистки воздуха в штреках. Вентилятор гонит по трубе запыленный воздух. Труба разделяется на два рукава — один из фторопласта, другой — из оргстекла. Пылинки антрацита, трущиеся о стенки, заряжаются по-разному: на фторопласте — положительно, на оргстекле — отрицательно. Потом рукава сходятся в общую камеру, где размноженные частицы антрацита притягиваются, слипаются и падают.

#### 14.1.2. Вентильный эффект

При контакте металла с полупроводником наблюдается вентильный эффект. Контактный слой на границе металла и полупроводника обладает односторонней проводимостью, что используется, например, для выпрямления переменного тока в точечных диодах. При контакте двух полупроводников разных типов проводимости образуется р-п переход, также обладающий вентильными свойствами. Это явление используется во многих типах полупроводниковых приборов.

### 14.2. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

В металлах и полупроводниках процессы переноса зарядов (электрический ток) и энергии взаимосвязаны, так как осуществляются посредством перемещения подвижных носителей тока — электронов, проводимостей и дырок. Эта взаимосвязь обуславливает ряд явлений (Зеебека, Пельтье, Томсона), которые называют термоэлектрическими явлениями.

#### 14.2.1. Эффект Зеебека

Эффект Зеебека состоит в том, что в замкнутой электрической цепи из разнородных металлов возникает термо-ЭДС, если места контактов поддерживаются при разных

температурах. Эта ЭДС зависит только от температуры и от природы материалов, составляющих термоэлемент. ТермоЭДС для пар металлов может достигать 50 мкВ/градус; в случае полупроводниковых материалов величина термоЭДС выше ( $10^2$ – $10^3$  мкВ/градус).

Авт. свид. № 263.969, G 01 N 46/04. Электротермический способ дефектоскопии, заключающийся в том, что контролируемую зону нагревают, пропуская через нее в течение определенного времени постоянный по величине электрический ток, измеряют при помощи термопары-датчика температуру ее нагрева и судят о наличии дефекта по отклонению этой температуры от температуры нагрева бездефектной зоны, отличающийся тем, что, с целью контроля зоны сварного соединения двух разных металлов, например, контактных узлов радиодеталей, в качестве термопары-датчика используют термопару, образованную соединенными металлами.

Для проверки качества сварного шва снимают распределение термоэлектрического потенциала поперек шва. Пики и впадины на кривых распределения говорят о неоднородности шва, а их величина — о степени неоднородности. Быстро и наглядно.

Если в разрыв одной из ветвей термоэлемента включить последовательно любое число проводников любого состава, все спаи (контакты) которых поддерживаются при одной и той же температуре, то термоЭДС в такой системе будет равна термоЭДС исходного элемента.

Авт. свид. № 531.042, G 091 K 7/02. Термопара, содержащая защитный чехол, термоэлектроды с электрической изоляцией, рабочие концы которых снабжены токопроводящей перемычкой, образующей измерительный спай, отличающаяся тем, что, с целью увеличения срока службы, термопары в условиях повышенной вибрации и больших скоростей нагрева, измерительный спай термопары выполнен в виде слоя порошкообразного металла, расположенного на дне защитного чехла.

При изменении физического состояния веществ, участвующих в контакте, изменяется и величина термоЭДС.

Авт. свид. № 423.024, G 01 N 25/32. Способ распознавания систем с ограниченной и неограниченной взаимной растворимостью компонентов по температурной зависимости термоЭДС, отличающийся тем, что, с целью повышения надежности распознавания, измеряют термоЭДС контакта двух исследуемых образцов.

Между металлом, сжатым всесторонним давлением, и тем же металлом, находящимся при нормальном давлении тоже возникает термоЭДС. Например, для железа при температуре  $100^{\circ}\text{C}$  и давлением 12 Кба термоЭДС равна 12,8 мкВ. При насыщении металла или сплава в магнитном поле относительно того же вещества без магнитного поля возникает термоЭДС порядка 0,9 мкВ/градус.

#### 14.2.2. Эффект Пельтье

Эффект Пельтье обратен эффекту Зеебека. При прохождении тока через спай различных металлов кроме джоулева тепла дополнительно выделяется или поглощается, в зависимости от направления тока, некоторое количество тепловых единиц. При этом количество теплоты пропорционально первой степени тока.

Патент США № 375.151. Для увеличения отношения сигнал/шум ФЭУ предлагается способ охлаждения фотокатодов термоэлектрическими элементами, расположенными внутри вакуумной оболочки ФЭУ.

#### 14.2.3. Явление Томсона

Явлением Томсона называют выделение или поглощение теплоты, избыточной над джоулевой, при прохождении тока по неравномерно нагретому однородному проводнику или полупроводнику.

#### 14.2.4. Эффект «глубокой дезактивации»

Использование законов неравновесной термодинамики некоторых положений других научных областей дало возможность установить ряд новых закономерностей, обуславливающих протекание различных процессов взаимодействия среды с конструкционными материалами в реальных условиях длительной эксплуатации атомных, энергетических и тепловых установок (открытие № 94, П. П. Брусаков, Л. В. Шмаков, И. Л. Рыбальченко, В. И. Лебедев, В. А. Курносов, В. А. Козлов). При использовании данного открытия снижается доза облучения при проведении ремонтных работ в 2–3 раза, что в большинстве случаев исключает необходимость проведения химической дезактивации. Скорость коррозии снизилась в 5–13 раз на различных участках. Технологии были использованы для дезактивации и пассивации поверхностей трубопроводов

и оборудования на третьем блоке Чернобыльской АЭС в условиях повышенной радиации после аварии.

На основании термогальваноэлектрической теории решается стоящая в атомной энергетике проблема «глубокой дезактивации».

### 14.3. ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ

При контакте тел с вакуумом или газом наблюдается электронная эмиссия — испускание электронов телами под влиянием внешних воздействий: нагревания (тепловая электронная эмиссия), потока фотонов (фотоэмиссия), потока электронов (вторичная эмиссия), потока ионов сильного электрического поля (автоэлектронная, или холодная эмиссия), механических или других «портящих структуру» действий (экзоэлектронная эмиссия).

Во всех видах эмиссий, кроме автоэлектронной, роль внешних воздействий сводится к увеличению энергетики части электронов или отдельных электронов тела до значения, позволяющего им преодолеть потенциальный порог на границе тела с последующим выходом в вакуум или другую среду.

Авт. свид. № 226.040, Н 01 L 11/02. Способ контроля глубины нарушенного поверхностного слоя полупроводниковых пластин, отличающийся тем, что, с целью обеспечения возможности автоматизации и упрощения процесса контроля, пластину нагревают до температуры, соответствующей максимуму экзоэлектронной эмиссии, которую контролируют одним из известных способов, а по положению пика эмиссии определяют глубину нарушенного слоя.

Авт. свид. № 513.460, Н 02 N 11/00. Электронная турбина, содержащая помещенные в вакуумный баллон катод и анод и размещенный между ними ротор с лопастями, отличающаяся тем, что, с целью увеличения крутящего момента на валу турбины, ее ротор выполнен в виде набора соосных цилиндров с лопастями, между цилиндрами роторов установлены неподвижные направляющие лопатки, причем лопасти ротора и направляющие лопатки имеют покрытие, обеспечивающее вторичную электронную эмиссию, например, сурьмяно-цезиевое.

#### 14.3.1. Автоэлектронная эмиссия

В случае автоэлектронной эмиссии внешнее электрическое поле превращают потенциальный порог на границе тела в барьер конечной ширины и уменьшают его высоту

относительно высоты первоначального порога, вследствие чего становится возможным квантовомеханическое туннелирование электронов сквозь барьер. При этом эмиссия происходит без затраты энергии электрическим полем.

Авт. свид. № 488.268, Н 01 J 9/42. Способ измерения объемной концентрации углеводорода в вакуумных системах путем термического разложения углеводородов на нагретом остром автокатоде и регистрации времени накопления пиролитического углеорода до одной из эталонных концентраций, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения, время накопления углеорода регистрируют по изменению значения автоэлектронного тока.

#### 14.3.2. Эффект Мольтера

Наличие на поверхности металла тонких диэлектрических пленок в сильных полях не мешает проходу электронов через потенциальный барьер. Это явление называется эффектом Мольтера.

Авт. свид. № 119.712. Электронно-лучевая запоминающая трубка с экранными сетками, отличающаяся тем, что, с целью хранения записи неограниченно долгое время, одна из экранных сеток, служащая потенциалоносителем, изготовлена из металлов, излучающих вторично-электронную эмиссию, покрытых пленкой диэлектрика и обладающих Мольтерэффектом.

#### 14.3.3. Туннельный эффект

Туннелирование электронов по потенциальным барьерам широко используется в специальных полупроводниковых приборах — туннельных диодах. На высоту туннельного барьера можно влиять не только электрическим полем, но и другими воздействиями.

Патент Франции № 2.189.746. Устройство, позволяющее обнаруживать магнитные домены с внутренним диаметром не более 1 мк, основано на определении изменения уровня Ферми исследуемого электрода по изменению высоты туннельного барьера и по его воздействию на величину сопротивления туннельного перехода. Устройство применимо в магнитных долговременных и оперативных запоминающих устройствах.

Авт. свид. № 286.274, G 11 B 5/46. Устройство для измерения контактного давления ленты на магнитную головку, содержащее упругие элементы и датчики, отличающееся

тем, что, с целью осуществления одновременно интегрального и дискретного измерения указанного давления, устройство измерения выполнено в виде полуцилиндра, состоящего из упругих элементов, образующих на корпусе магнитной головки, при этом другой край полуцилиндра выполнен свободным, а под каждой полосой гребенки установлен датчик, например, с туннельным эффектом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зильберман Г. Е. Электричество и магнетизм. — М.: Наука, 1970.
2. Таблицы физических величин. — М.: Атомиздат, 1976.
3. Авт. свид. № 464.183, патент ФРГ № 1.295.100 и др.

## ГАЛЬВАНО- И ТЕРМОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

### 15.1. ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Это совокупность явлений, возникающих под действием магнитного поля в проводниках, по которым протекает электрический ток.

#### 15.1.1. Эффект Холла

При этом в направлении, перпендикулярном направлениям магнитного поля и направлению тока, возникает электрическое поле (эффект Холла).

Коэффициент Холла может быть положительным и отрицательным и даже менять знак с изменением температуры. Для большинства металлов наблюдается почти полная независимость коэффициента Холла от температуры. Резко аномальным эффектом Холла обладает висмут, мышьяк и сурьма. В ферромагнетиках наблюдается особый, ферромагнитный эффект Холла. Коэффициент Холла достигает максимума в точке Кюри, а затем снижается.

Авт. свид. № 272.426, G 01 R 33/06. Способ измерения магнитной индукции в образце из магнитотвердого материала путем помещения испытуемого образца во внешнее магнитное поле, отличающийся тем, что, с целью повышения точности и сокращения времени измерения, через поперечное сечение образца пропускают электрический ток и измеряют ЭДС Холла на его основных гранях, по которой судят об искомой величине.

Авт. свид. № 283.639, G 01 L 23/00. Устройство для измерения среднего индикаторного давления в цилиндрах поршневых машин, содержащее датчик, преобразующий давление в электрический сигнал, датчик положения поршня, усилитель, электронный вычислительный блок и указатель, отличающееся тем, что, с целью упрощения конструкции, в качестве датчика положения поршня и



множительного элемента вычислительного блока использован датчик Холла, магнитная система которого жестко связана с коленчатым валом двигателя, а активный элемент соединен через усилитель с выходом датчика давления, при этом выход датчика Холла через интегратор подключен к указателю.

### 15.1.2. Эффект Эттингсгаузена

В направлении, перпендикулярном к направлению магнитного поля и направлению тока, возникает температурный градиент (разность температур) (эффект Эттингсгаузена).

Авт. свид. № 182.778, Н 01 М 27/00. Низкотемпературное устройство на основе эффекта Пельтье и Эттингсгаузена, отличающееся тем, что, с целью одновременного использования термоэлектрической батареи как генератора холода и как источника магнитного поля для охладителя Эттингсгаузена, термобатарея выполнена в виде цилиндрического соленоида.

### 15.1.3. Магнитосопротивление

Изменяется сопротивление проводника, что эквивалентно возникновению добавочной разности потенциалов вдоль направления электрического тока. Для обычных металлов это изменение сопротивления мало — порядка 0,1% в поле 20 кВ, однако для висмута и полупроводника величина изменения может достигать 200% (в полях 30 кВ).

Авт. свид. № 163.508. Универсальный гальваномагнитный датчик, содержащий плоские токовые и холловские электроды, точечность контакта которых обеспечивают перемычки в теле датчика, отличающийся тем, что, с целью уменьшения эффекта закорачивания холловского напряжения токовыми электродами, использования одного и того же единичного гальваномагнитного датчика как датчика ЭДС Холла или как датчика магнитосопротивления, или как гиратора, токовые электроды расположены вдоль эквипотенциальных линий поля Холла или под острым углом к ним, например, по ребрам плоского датчика, а для перехода от одного используемого эффекта к другому применено коммутирующее устройство и регулируемый источник питания.

У ферромагнетиков в сильных полях наблюдается увеличение сопротивления с ростом поля (эффект Томсона).

## 15.2. ТЕРМОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Термомагнитные явления — совокупность явлений, возникающих под действием магнитного поля в проводниках, внутри которых имеется тепловой поток. При поперечном намагничивании проводника возникают следующие термомагнитные явления:

### 15.2.1. Эффект Риге—Людега

В направлении перпендикулярном градиенту температур и направлению магнитного поля возникает градиент температур (эффект Риге—Людега).

### 15.2.2. Продольные эффекты

При продольном намагничивании образца изменяются сопротивление, термо- и ЭДС, теплопроводность (появляется тепловой поток).

Авт. свид. № 187.859, Н 01 М 27/00. Устройство для измерения ЭДС поперечного эффекта Нернста—Эттингсгаузена в полупроводниковых материалах, содержащее нагреватель, холодильник и термопары — зонды, отличающееся тем, что, с целью исключения неизотермической части ЭДС Нернста—Эттингсгаузена, уменьшения тепловых потерь и исключения циркуляционных токов на контакте полупроводник—измерительные зонды, термопары зонды подведены к поверхности исследуемого образца через массивные металлические блоки холодильника и нагревателя, находящиеся в хорошем тепловом контакте с образцом, электрически изолированные от последнего.

В этом авторском свидетельстве физический эффект не применен не только для решения задач. Оно просто демонстрирует, что использование эффектов требует как знания, так и решения сложных электрических задач.

### 15.2.3. Электронный фототермомагнитный эффект

— появление ЭДС в одном проводнике (полупроводнике или металле), помещенном в магнитное поле, обусловленное поглощением электромагнитного поля свободными

носителями заряда. Магнитное поле должно быть перпендикулярно потоку излучения. Этот эффект применяется в высокочувствительных приемниках длинноволнового инфракрасного излучения. Постоянная времени эффекта —  $10^{-7}$  сек.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Журнал «Радио», 1964, № 9. — С. 53.
2. Авт. свид. №№ 187.177; 249.473; 255.996; 476.463 и др.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ В ГАЗАХ

### 16.1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД

Любое тело состоит из атомов и молекул. Простейший из атомов — атом водорода — представляет собой систему из положительно заряженного ядра (протона) и движущегося вокруг него отрицательного заряда — электрона. Ядра более сложных атомов содержат два, три и более протонов, их число равно номеру элемента в таблице Менделеева. Соответственно вокруг ядра движется такое же число электронов, так что в целом атом электрически нейтрален. Группы электронов, окружающих ядро, образуют так называемые электронные оболочки. Почти вся масса атома сосредоточена в ядре, поскольку электрон примерно в 2000 раз легче протона. Если каким-то способом оторвать от атома электрон, то в результате образуется свободный электрон и положительно заряженный остаток атома — ион. Процесс отрыва электронов от атома называется ионизацией.

В обычных условиях любой газ является изолятором. Для того чтобы под действием электрического поля возник ток, требуется каким-то способом ионизировать атомы и молекулы газа. Внешние проявления и характеристики разрядов в газе чрезвычайно разнообразны, что объясняется широким диапазоном параметров и элементарных процессов, определяющих условия прохождения тока через газ. К первым относятся состав и давление газа, геометрическая конфигурация разрядного пространства, частота внешнего электрического поля, сила тока и т. п., ко вторым — ионизация и возбуждение атомов и молекул газа, рекомбинация, удары одного рода, различные виды эмиссии электронов. Такое многообразие управляемых факторов создает предпосылки для весьма широкого применения газовых разрядов.

### **16.1.1. Потенциал ионизации**

Потенциалом ионизации называется энергия, необходимая для отрыва электрона от атома. Для нейтральных невозбужденных атомов величина этой энергии изменяется от 4 до 24 электронвольт.

### **16.1.2. Фотоионизация атомов**

Атомы могут ионизироваться при поглощении кванта света, энергия которых равна потенциалу ионизации атома или превосходит ее.

### **16.1.3. Поверхностная ионизация**

Адсорбированный атом может покинуть нагретую поверхность. Для этого необходимо, чтобы работа выхода поверхности была больше энергии ионизации уровня валентного электрона адсорбированного атома (щелочные металлы на вольфраме и платине).

### **16.1.4. Применение ионизации**

Ионизация используется не только для возбуждения различных видов газовых разрядов, но и для интенсификации различных химических реакций и для управления потоками газов с помощью электрических и магнитных полей.

Авт. свид. № 282.684, G 01 F 1/00. Способ измерения малых потоков газа, выпускаемых в вакуумный объем, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения, газ перед запуском ионизируют и формируют в однородный ионный пучок, затем вводят ионный пучок в вакуумный объем, где его нейтрализуют на металлической мишени, и по току ионного пучка судят о величине газового потока.

## **16.2. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ТОРОИДАЛЬНЫЙ РАЗРЯД**

Обычно газовый разряд происходит между проводящими электродами, создающими граничную конфигурацию электрического поля и играющими значительную роль в качестве источников и стоков заряженных частиц. Однако, наличие электродов не обязательно (высокочастотный тороидальный разряд).

### 16.3. РОЛЬ СРЕДЫ И ЭЛЕКТРОДОВ

При достаточно больших давлениях и длинах разрядного промежутка основную роль в возникновении и протекании разряда играет газовая среда. Поддержание разрядного тока определяется поддержанием равновесной ионизации газа, происходящей при малых токах — за счет процессов каскадной ионизации, а при больших токах за счет термической ионизации.

При уменьшении давления газа и длины разрядного промежутка все большую роль играют процессы на электродах; при  $P = 0,02 \dots 0,4$  мм рт. ст./см процессы на электродах становятся определяющими.

### 16.4. ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД

При малых разрядных токах между холодными электродами и достаточно однородном поле основным типом разряда является тлеющий разряд, характеризующийся значительным (50...400 В) катодным падением потенциала. Катод в этом типе разряда испускает электроны под действием заряженных частиц и световых квантов, а тепловые явления не играют роли в поддержании разряда.

Патент США № 3.533.434. В устройстве, предназначенном для считывания информации с перфорированного носителя, используются лампы тлеющего разряда, имеющие невысокую стоимость, и, кроме того, обладающие высокой надежностью. Освещение ламп через носитель информации источником пульсирующего света вызывает зажигание некоторых из них, продолжающееся и после исчезновения светового импульса. Таким образом, лампы тлеющего разряда обеспечивают хранение информации и не требуют дополнительного запоминающего устройства.

### 16.5. СТРАТЫ

Примесь молекулярных газов в разрядном промежутке при коронном разряде приведет к образованию страт, т. е. расположенных поперек градиента электрического поля темных и светлых полос.

### 16.6. КОРОННЫЙ РАЗРЯД

Тлеющий разряд в сильно неоднородном электрическом поле и при значительном ( $P = 100$  мм рт. ст.) давлении называют коронным. Ток коронного разряда

имеет характер импульсов, вызываемых электронными лавинами. Частота повторения импульсов 10... 100 КГц.

### 16.7. ДУГОВОЙ РАЗРЯД

Дуговой разряд наблюдается при силе тока не менее нескольких ампер. Для этого типа разряда характерно малое (до 10 В) катодное падение потенциала и высокая плотность тока. Для горения дугового разряда существенна высокая электронная эмиссия катода и термическая ионизация в плазменном столбе. Спектр дуги обычно содержит линии материала катода.

Авт. свид. № 226.729, Н 01 G 11/03. Способ выпрямления переменного тока с помощью газоразрядного промежутка с полым катодом при низком давлении газа, соответствующем области левой ветви кривой Пашена, отличающийся тем, что, с целью увеличения выпрямленного тока и уменьшения падения напряжения в течение проводящей части периода, при положительном потенциале на аноде систему «анод-полый катод» переводят в режим дугового разряда.

Для очистки проката от ржавчины, смазки, остатков продуктов травления и т. п. широко применяются химические и электрохимические способы. Агрегаты, используемые в таких линиях очистки, требуют значительных производственных площадей. Выделяющиеся при травлении испарения не только вредны для обслуживающего персонала, но и разрушительно действуют на производственное оборудование и цеховые конструкции. Кроме того, необходимость утилизации отходов используемых кислот и щелочей требуют принятия дополнительных дорогостоящих мер для предотвращения заражения окружающей среды.

Альтернативные механические методы очистки (пропускание металла через барьеры из зачищающих тросов, абразивная обработка, обточка или фрезирование) при малой эффективности и производительности связаны также со значительными отходами материалов. Совершенно новые возможности открывает предложенный в 1980 году способ удаления с поверхности металла остатков технологических смазок, окалины, окисных пленок и т. п. с применением электродугового разряда в вакууме.

Авт. свид. № 719.710, Н 08 В 3/10. Способ катодной обработки деталей устойчивым дуговым разрядом, горящим в режиме падающего участка вольтамперной характеристики, отличающийся тем, что, с целью повышения

скорости и качества обработки, возможности обработки деталей из легкоплавких материалов и снижения себестоимости процесса, при обработке деталей дуговым разрядом осуществляют изменением потенциала вдоль обрабатываемой поверхности для обеспечения направленного перемещения катодного пятна дуги.

Авт. свид. № 171.056, Н 08 В 3/10. Способ очистки электродной проволоки при дуговой сварке, при котором очищающую проволоку пропускают через кольцевой электрод, присоединенный вместе с проволокой к источнику тока, отличающийся тем, что, с целью повышения качества очистки, между проволокой и электродом возбуждают дуговой разряд в защитной газовой среде, который перемещают вокруг проволоки магнитным полем.

### 16.8. ИСКРОВОЙ РАЗРЯД

Искровой разряд начинается с образования стример-самораспространяющихся электронных лавин, образующих проводящий канал между электродами. Вторая стадия искрового разряда — главный разряд — происходит вдоль канала, образованного стримером, а по своим характеристикам близка к дуговому разряду, ограниченному во времени емкостью электродов и недостаточностью питания. При давлении 1 атм материал и состояние электродов не оказывают влияния на пробивное напряжение в этом виде разряда.

Расстояние между сферическими электродами, соответствующее возникновению искрового пробоя, весьма часто служит для измерения высокого напряжения, а также размера частиц.

Авт. свид. № 272.663, G 01 N 14/02. Способ определения размера макрочастиц с подачей их на заряженную поверхность, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения, определяют интенсивность световой вспышки, сопровождающей электрический пробой, между заряженной поверхностью и приближающейся к ней часцей и по интенсивности судят о размере частицы.

### 16.9. ФАКЕЛЬНЫЙ РАЗРЯД

Особый вид высокочастотного одноэлектродного разряда. При давлениях, близких к атмосферному или выше, факельный разряд имеет форму пламени свечи. Этот вид разряда может существовать при частотах 10 МГц при достаточной мощности источника.



## 16.10. «СТЕКАНИЕ» ЗАРЯДОВ С ОСТРИЯ

При изучении заряженного острия наблюдается интересный эффект — так называемое «стекание» зарядов с острия. В действительности никакого стекания нет. Механизм этого явления следующий: в воздухе в небольшом количестве свободные заряды вблизи острия разгоняются и, ударяясь об атомы газа, ионизируют их. Создается область пространственного заряда, откуда ионы того же знака, что и острие, выталкиваются полем, увлекая за собой атомы газа. Поток атомов и ионов создает впечатление стекания зарядов. При этом острие разряжается и одновременно получает импульс, направленный против острия.

Пример применения коронного разряда.

Авт. свид. № 485.282, F 24 F 3/14. Устройство для кондиционирования воздуха, содержащее корпус с поддоном и патрубками для подвода и отвода воздуха и размещений в корпусе теплообменник с каналами, орошаемыми со стороны одного из потоков, отличающееся тем, что, с целью повышения степени охлаждения воздуха путем интенсификации испарения воды, по оси орошаемых каналов теплообменника установлены коронирующие электроды, прикрепленные к имеющему заземление корпусу с помощью изоляторов и подключенные к отрицательному полюсу источника напряжения.

## 16.11. ПЛАЗМА

Ионизацию можно осуществить простым нагреванием газа. При температурах порядка нескольких тысяч градусов вместо обычного нейтрального газа образуется смесь, состоящая из нейтральных атомов и молекул, свободных электронов и ионов. В целом получившаяся смесь так же электрически нейтральна, как и газ, из которого она образовалась. Эта смесь и называется плазмой.

Таким образом, самый простой и понятный способ получения плазмы — это нагрев газа до высоких температур. Так образуется плазма в глубинах Солнца и звезд, где источником нагрева являются происходящие там ядерные реакции.

В земных условиях плазму в лабораториях и для технических нужд получают несколько иным способом — путем пропускания электрического тока через газ.

Плазма широко используется при дуговой сварке, в плазматронах, металлургии, медицине и других областях.

Авт. свид. № 1.805.677, С 23 С 4/12. Способ плазменного напыления покрытий, включающий формирование плазменной струи при подаче двух плазмообразующих газов, отличающийся тем, что, с целью повышения прочности сцепления и снижения пористости, процесс осуществляют при изменении расхода обоих плазмообразующих газов в противофазе с частотой 100...200 Гц и постоянном суммарном расходе их смеси.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Терехов В. П. Очистка поверхности проволоки дуговым разрядом. Черметинформация, 1976, № 7.

2. Литвинов В. К., Морозов А. П., Валеев В. Х. Плазменная и электронно-плазменная обработка и нагрев поверхности металла при производстве проволоки и ленты//Черная металлургия, 1989, № 2.

3. Булат В. Е., Эстерлис М. Х. Очистка металлических изделий от окалины, окисной пленки и загрязнений электродуговым разрядом в вакууме//Физика и химия обработки металлов, 1987, № 3.

4. Максимов Л. Ю., Кривонос Г. А. Экономически безопасная очистка металла в потоке//Тяжелое машиностроение, 1997, № 5.

## **ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ**

Эффекты, связанные с относительным движением двух фаз под действием электрического поля, а также возникновение разности потенциалов при относительном смещении двух фаз, на границе между которыми существует двойной электрический слой, называются электрокинетическими явлениями.

### **17.1. ЭЛЕКТРООСМОС**

Электроосмос (электроэндоосмос) — движение жидкостей или газов через капилляры, твердые пористые диафрагмы и мембраны, а также через слои очень мелких частиц под действием внешнего электрического поля.

Электроосмос применяется для очистки коллоидных растворов от примесей, для очистки глицерина, сахарных сиропов, желатина, воды, при дублении кож, а также при окраске некоторых материалов.

### **17.2. ОБРАТНЫЙ ЭФФЕКТ**

Эффект, обратный электроосмосу, — возникновение разности потенциалов между концами капилляра, а также между противоположными поверхностными диафрагмами, мембранами или для другой пористой среды при продавлении через них жидкости (потенциал течения).

### **17.3. ЭЛЕКТРОФОРЕЗ (КАТАФОРЕЗ)**

Представляет собой движение под действием внешнего электрического поля твердых частиц, пузырьков газа, капель жидкости, а также коллоидных частиц, находящихся во взвешенном состоянии в жидкой, газовой среде.

Электрофорез применяют для определения взвешенных в жидкости мелких частиц, не поддающихся фильтрованию или отжиманию, для обезвоживания торфа, очистки глины или каолина, обезвоживания красок, осаждения каучука из латекса, разделения масляных эмульсий, осаждения дымов и туманов.

Авт. свид. № 308.986, С 04 В 21/02. Способ снижения пористости керамических изделий путем насыщения их дисперсионным материалом, отличающийся тем, что, с целью повышения электрической прочности, насыщение проводят за счет электрофоретического осаждения твердых частиц из суспензии с наводной дисперсионной средой.

#### 17.4. ОБРАТНЫЙ ЭФФЕКТ

Эффект, обратный электрофорезу, — возникновение разности потенциалов в жидкости в результате движения частиц, вызванного силами неэлектрического характера, например, при оседании частиц в поле тяжести, при движении в ультразвуковом или центробежном поле (седиментационный потенциал, или потенциал оседания).

#### 17.5. ЭЛЕКТРОКАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Явления, связанные с зависимостью величины поверхностного натяжения на границе раздела электрод-раствор от потенциала электрода, называются электрокапиллярными явлениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Краткая химическая энциклопедия. — М., 1967.

## СВЕТ И ВЕЩЕСТВО

### 18.1. ВИДИМОЕ, УФ И ИК-ИЗЛУЧЕНИЕ

Свет — это совокупность электромагнитных волн различной длины. Диапазон длин волн видимого света — от 0,4 до 0,75 мкм. К нему примыкают области невидимого света — ультрафиолетовая (от 0,4 до 0,1 мкм) и инфракрасная (от 0,75 до 750 мкм).

Видимый свет доносит до нас большую часть информации из внешнего мира. Помимо зрительного восприятия, свет можно обнаружить по его тепловому эффекту, по электрическому действию или по вызываемой им химической реакции. Восприятие света сетчаткой глаза является лишь одним из примеров его фотохимического действия. В зрительном восприятии определенной длине волны света соответствует определенный цвет. Так, излучение с длиной волны 0,48...0,5 мкм будет голубым, 0,56...0,59 — желтым, 0,62...0,75 — красным. Естественный (белый) свет есть совокупность волн различной длины, распространяющихся одновременно. Его можно разложить на составляющие и выделить их с помощью спектральных приборов (призм, дифракционных решеток, светофильтров).

Как и всякая волна, свет несет с собой энергию, которая зависит от длины волны (или частоты) излучения.

Ультрафиолетовое излучение, как более коротковолновое, характеризуется большей энергией и более сильным взаимодействием с веществом, чем объясняется широкое его использование в изобретательской практике. Например, ультрафиолетовым излучением можно инициировать или усиливать многие химические реакции.

Авт. свид. № 489.602, В 23 К 1/08. Способ соединения металлов путем заполнения зазора между соединяемыми деталями металлом, полученным разложением его химического соединения, отличающийся тем, что, с целью устранения термического воздействия на соединяемые де-

тали, разложение химических соединений осуществляется облучением ультрафиолетовым светом.

Существенно влияние ультрафиолетового излучения на биологические объекты, например, его бактерицидное действие.

Следует отметить, что ультрафиолетовое излучение сильно поглощается большинством веществ, что не позволяет применять при работе с ним обычную стеклянную оптику. До 0,18 мкм используют кварц, фтористый литий, до 0,12 мкм — флюорит; для менее коротких волн приходится применять отражательную оптику.

Еще более широко в технике используют длинноволновую часть спектра — инфракрасное излучение. Отметим здесь приборы ночного видения, ИК-спектроскопию, тепловую обработку материалов, лазерную технику, измерение на расстоянии температуры предметов и т. д.

Авт. свид. № 269.400, D 01 D 39/02. Способ противопожарного контроля волокнистого материала, например, хлопка-сырца, подаваемого по трубопроводу к месту его хранения, отличающийся тем, что, с целью повышения надежности хранения, контроль осуществляют посредством расположенных по периметру трубопровода датчиков, реагирующих на инфракрасное излучение.

Авт. свид. № 271.550, E 01 C 3/02. Способ ремонта асфальтобетонных дорожных покрытий на основе применения инфракрасного излучения, отличающийся тем, что, с целью обеспечения ремонта в зимнее время, вначале создают тепловую защиту непосредственно в месте производства работ путем создания зон положительных температур посредством источников инфракрасного излучения, затем разогревают применяемые в качестве исходного материала асфальтобетонные брикеты одновременно с ремонтируемым участком дорожного покрытия до пластического состояния при помощи инфракрасных лучей.

Интересное свойство ИК-лучей обнаружили польские ученые; прямое облучение стальных изделий светом инфракрасных ламп сдерживает процессы коррозии не только в условиях обычного хранения, но и при повышенных влажности и содержании газов.

## 18.2. СВЕТОВОЕ ДАВЛЕНИЕ

Световое излучение может передавать свою энергию телу не только нагревая его или возбуждая его атомы, но и в виде механического давления. Световое давление

проявляется в том, что на освещаемую поверхность тела действует сила, пропорциональная плотности световой энергии и зависящая от оптических свойств поверхности. Световое давление на полностью отражающую зеркальную поверхность вдвое больше, чем на полностью поглощающую при прочих равных условиях.

Объяснить это явление можно как с волновой, так и с корпускулярной точек зрения на природу света. В первом случае это результат взаимодействия электрического тока, наведенного в теле электрическим полем световой волны, с ее магнитным полем по закону Ампера. Во втором — результат передачи фотонов поглощающей или отражающей стенке.

Величина светового давления мала. Так, яркий солнечный свет давит на 1 кв. м черной поверхности с силой всего лишь 0,4 мГ. Однако простота управления световым потоком, «бесконтактность» воздействия и «избирательность» светового давления в отношении тел с различными поглощающими и отражательными свойствами позволяют с успехом использовать это давление в изобретательстве (например, фотонная ракета).

Согласно патенту США № 3.590.932, световое давление используется в микровесах для уравнивания малых изменений массы или силы.

Измерительное фотоэлектрическое устройство определяет, какая величина светового потока, а следовательно, и светового давления, потребовалась для компенсации изменения массы образца и восстановления равновесия системы.

Авт. свид. № 174.432, G 01 N 13/02. 1. Способ перекачки газов или паров из сосуда в сосуд путем создания перепада давления на разделяющей оба сосуда перегородке, имеющей отверстие, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности откачки, на отверстие в перегородке фокусируют световой пучок, излучаемый, например, лазером.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что, с целью осуществления избирательной откачки газов или паров и, в частности, с целью разделения изотопных смесей газов или паров, ширину спектра излучения выбирают меньше ширины линии поглощения откачиваемого компонента и меньше частотного разнеса центров линий поглощения соседних с ним компонентов, при этом частоту излучателя настраивают на центр линии поглощения откачиваемого компонента.

### 18.3. ОТРАЖЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА

При падении параллельного пучка света на гладкую поверхность раздела двух прозрачных изотропных сред часть света отражается обратно, а другая часть проходит во вторую среду, при этом направление пучка света изменяется, происходит преломление света.

Угол отражения равен углу падения. А угол преломления связан с углом падения определенным соотношением.

Показатели преломления обычных газов при нормальных условиях близки к 1, для стекол эта величина порядком 1,4...1,7.

Эффекты отражения и преломления лежат в основе работы таких систем, которые позволяют передавать световую энергию и изображения, фокусировать свет в мощные пучки, разлагать его в спектр.

**Патент США № 3.562.530.** Способ получения и нагревания незагрязненных плазмидов заключается в том, что мишень располагают в первой сопряженной фокальной точке закрытой камеры, которая представляет собой зеркально отраженную систему, во второй фокальной точке, сопряженной с первой, генерируют короткий импульс электромагнитной энергии. Эта энергия фокусируется на мишень, которая нагревается до очень высокой температуры.

Отраженный свет может нести значительную часть информации о форме предмета (а также о структуре его поверхности) как в случае зеркального, так и диффузного отражения.

**Авт. свид. № 521.086, В 01 J 23/06.** Способ определения времени пайки выводов радиодеталей, например, резисторов, при котором производят погружение вывода в каплю расплавленного припоя и регистрируют интервал времени между соприкосновением вывода с каплей и замыканием капли над ним, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения времени пайки, на поверхность капли припоя направляют луч света в форме узкой полосы и фиксируют интервал времени между началом отклонения отраженного от поверхности капли луча до его возвращения в исходное положение, используя фотоэлемент, соединенный со счетчиком времени.

Процессы отражения и преломления связаны с внутренней структурой вещества, измерение показателя преломления — один из важнейших методов структурных исследований.



**Авт. свид. № 280.956, G 01 D 11/16.** Способ исследования тепловых напряжений на прозрачных моделях путем просвечивания образца монохроматическим светом, отличающийся тем, что, с целью определения полного теплового напряжения, вызываемого неоднородным нагревом, предварительно определяют градиент температур в исследуемом образце, измеряют соответствующий ему угол отклонения светового луча в данной точке и по полученным данным судят о величине теплового напряжения.

В общем случае, лучи отраженный и преломленный — это лучи поляризованного света. Степень поляризации зависит от угла падения. При определенном значении этого угла (угол Брюстера) отраженный свет полностью линейно поляризован перпендикулярно плоскости падения. При падении же под углом Брюстера света, уже поляризованного в плоскости падения, отражения вообще не происходит, несмотря на скачок показателя преломления.

**Авт. свид. № 501.377, G 02 F 1/33.** Акустооптический дефлектор, содержащий акустооптический элемент и пьезопреобразователь, отличающийся тем, что, с целью увеличения его разрешающей способности с одновременным уменьшением потерь света на отражение, входная поверхность акустооптического элемента выполнена по отношению к поверхности, на которой расположен пьезопреобразователь, под углом, равным сумме угла Брюстера и угла дифракции Брэгга для данного материала, а выходная поверхность — под углом, равным разности между углом Брюстера и углом Брэгга.

### **18.3.1. Полное внутреннее отражение**

При определенных условиях может наблюдаться полное внутреннее отражение света, при котором вся энергия световой волны, падающей на границе двух прозрачных сред со стороны среды, оптически более плотной, полностью отражается в эту же среду. В частности, это явление используют в призмах биноклей и перископов, но диапазон его применения в изобретательстве гораздо шире.

**Авт. свид. № 237.363, B 66 C 6/08.** Устройство для измерения температуры, содержащее измерительный элемент, установленный в контролируемой среде, и источник белого света с диафрагмой, отличающееся тем, что, с целью повышения точности измерения температуры и увеличения светосилы устройства, измерительный элемент выполнен в виде двух прозрачных прямоугольных призм, сложен-

ных наклонными гранями, между которыми расположен слой прозрачного вещества с показателем преломления, зависящим от длины волны и температуры, причем источник света расположен относительно измерительного элемента так, что ось светового потока наклонена к плоскости входной грани призмы под предельным углом полного внутреннего отражения.

Авт. свид. № 288.464, F 16 N 29/04. Устройство для активного контроля распыления жидкости, выполненной из источника света, воздействующего через собирательную линзу на фоторезистор, к которому подключен усилитель, отличающееся тем, что, с целью увеличения надежности контроля, на пути света за линзой последовательно установлены оптический многогранник полного внутреннего отражения и охватывающая его изогнутая шторка, образующая с одной из граней клинообразное входное пространство.

На основе явления полного внутреннего отражения созданы светопроводы, которые гораздо эффективнее обычных линзовых систем. Широкие одиночные светопроводы передают излучение; применение волоконной оптики — пучков очень тонких светопроводов — позволяет передавать также изображения, в том числе и по непрямым путям, т. к. пучок тонких волокон может быть сильно изогнут без разрушения и потери прозрачности.

Авт. свид. № 210.677. 1. Устройство для выравнивания косогорных машин или их рабочих органов, содержащее маятниковый датчик наклона и электрогидравлический механизм выравнивания, отличающееся тем, что, с целью повышения надежности, оно снабжено гибким световодом, измеряющими поперечное сечение под воздействием маятника, с одной стороны которых установлен источник света, а с другой — фотоэлементы, включенные в электрическую схему механизма выравнивания.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что, между источником и гибким световодами установлены промежуточные световоды, например, из стекловолокна.

## 18.4. ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ СВЕТА

В предыдущем разделе явления рассматривались в предположении, что среды оптически однородны и абсолютно прозрачны для света. В действительности дело обстоит иначе. Процесс прохождения света через вещество — это процесс поглощения атомами и молекулами энергии электромагнитной волны, которая идет на

возбуждение колебаний электронов и последующего переизлучения этой энергии в виде света. При этом не вся энергия переизлучается, часть ее переходит в другие виды энергии, например, тепловую. Это приводит к поглощению света веществом, которое зависит от длины волны света и имеет максимумы на частотах, соответствующих частотам собственных колебаний электронов в атомах, самих атомов и молекул. Естественно, поглощение зависит и от толщины слоя поглощающего вещества.

**Патент США № 3.825.755.** Толщину полимерной пленки измеряют, сравнивая потоки ИК-излучения: отраженного от поверхности и прошедшего сквозь пленку, ослабленного за счет поглощения в слое полимера.

**Патент Великобритании № 1.332.112.** Для определения влагосодержания предмета его облучают светом с длиной волны, лежащей в области поглощения воды, и измеряют сигнал ослабленного излучения.

**Авт. свид. № 266.560, G 03 C 10/00.** Контролируют процесс сушки по ИК-поглощению паров растворителя.

Ослабление светового излучения при прохождении через среду объясняется также и рассеянием света. В случае наличия в среде оптических неоднородностей переизлучение энергии электромагнитной волны происходит не только в направлении проходящей волны (пропускание), но и в стороны. Эта часть излучения, наряду с дифрагированной, преломленной и отраженной на неоднородностях составляющими, и образует рассеянный свет. Рассеяние обладает дисперсией. В атмосфере, например, рассеиваются преимущественно голубые лучи, этим объясняется голубой цвет неба. В то время как свет, проходящий через атмосферу, обогащен красными составляющими — красный цвет зорь. При монохроматическом освещении даже в физически сильно неоднородной среде рассеяние не происходит при совпадении коэффициентов преломления компонентов среды. Выбрав компоненты с различными температурными коэффициентами преломления, можно создать оптический термометр.

**Авт. свид. № 253.408, G 01 D 38/00.** Устройство для измерения температуры, содержащее измерительный элемент, устанавливаемый на исследуемый материал, и источник белого света, отличающееся тем, что, с целью расширения интервала измеряемых температур, измерительный элемент выполнен в виде прозрачной кюветы, заполненной смесью оптически неоднородных веществ, соответствующих заданному интервалу температур, по-

казатели преломления которых зависят от длины волны, а температурные коэффициенты показателей преломления отличаются знаком либо величиной.

Показатели преломления компонентов смеси совпадают для различных длин волн в зависимости от температуры. При этом кювета становится оптически однородной для света с данной длиной волны, который, пройдя через кювету, сообщает ей определенный цвет, соответствующий определенной температуре. Другие же составляющие белого цвета рассеиваются на неоднородностях системы и через кювету не проходят.

Распределение интенсивности света, рассеянного средой по различным направлениям (индикатриса рассеяния), может дать значительную информацию о микроразличиях параметрах среды. Такого рода изменения находят применение в биологии, коллоидной и аналитической химии, составляя предмет нефелометрических исследований, а также в аэрозольной технике.

Рассеяние наблюдается и в чистых веществах. Оно объясняется возникновением оптической неоднородности, связанной с флуктуациями плотности, например, тепловыми. Рассеянный свет по некоторым направлениям частично поляризован.

#### 18.4.1. Эффект Мандельштама—Ландсберга—Рамана

В случае комбинационного рассеяния света (эффект Мандельштама—Ландсберга—Рамана) в спектре рассеянного излучения кроме линий, характеризующих падающий свет, имеются дополнительные линии (сателлиты), излучение которых является комбинацией частот падающего излучения и частот собственных тепловых колебаний молекул рассеивающей среды.

Согласно патенту США № 3.820.897 контроль содержания загрязнений в большом объеме воздуха производится на основе анализа характеристического рамановского излучения (сателлитов комбинационного рассеяния), возникающего при рассеянии лазерного излучения на атомах и молекулах загрязнений.

### 18.5. ИСПУСКАНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА

Пламя излучает свет. Стекло поглощает ультрафиолетовые лучи. Обычные фразы, привычные понятия. Однако здесь термины «излучает», «поглощает» описывают

только внешние, легко наблюдаемые явления, физика этих процессов непосредственно связана со строением атомов и молекул вещества.

Атом — квантовая система, его внутренняя энергия — это, в основном, энергия взаимодействия электронов с ядром; эта энергия, согласно квантовым законам, может иметь только вполне определенные для каждого вида и состояния атомов значения. Таким образом, энергия атома не может меняться непрерывно, а только скачками — порциями, равными разности каких-либо двух разрешенных значений энергии.

Квантовая система (атом, молекула), получая извне порцию энергии, возбуждается, т. е. переходит с одного энергетического уровня на другой, более высокий. В возбужденном состоянии система не может находиться сколько угодно долго: в какой-то момент происходит самопроизвольный (спонтанный) обратный переход с выделением той же энергии.

Квантовые переходы могут быть излучательные и безызлучательные.

В первом случае энергия поглощается или испускается в виде порции электромагнитного излучения, частота которого строго определена разностью энергий тех уровней, между которыми происходит переход.

В случае безызлучательных переходов система получает или отдает энергию при взаимодействии с другими системами (атомами, молекулами, электронами). Наличие этих двух типов переходов объясняет оптико-акустический эффект Бейнгерова.

### 18.5.1. Оптико-акустический эффект

При облучении газа, находящегося в замкнутом объеме, амплитудно-модулированным потоком инфракрасного излучения в газе возникают пульсации давления (оптико-акустический эффект). Его механизм довольно прост, поглощение инфракрасного излучения происходит с возбуждением молекул газа. Обратный же переход происходит безызлучательно, т. е. энергия возбуждения молекул переходит в их кинетическую энергию, что и обуславливает изменение давления.

Количественные характеристики эффекта весьма чувствительны к составу газовой смеси. Применение оптико-акустического эффекта для анализа смесей характеризуется простотой и надежностью, высокой избиратель-

ностью и широким диапазоном концентраций компонентов.

Оптико-акустический индикатор представляет собой неселективный приемник лучистой энергии, предназначенный для анализа газов.

Промодулированный лучистый поток через флюоритовое окно попадает в камеру с исследуемым газом. Под действием потока меняется давление газа на мембрану микрофона, в результате чего в цепи микрофона возникают электрические сигналы, зависящие от состава газа.

Оптико-акустический эффект используется при измерении времени жизни возбужденных молекул, в ряде работ по определению влажности и потоков излучения (см. а. с. № 109.939, 167.072, 208.328, 208.329). Отметим, что оптико-акустический эффект возможен также и в жидкостях, и в твердых телах.

### 18.5.2. Спектральный анализ

Атомы каждого вещества имеют свою, только им присущую структуру энергетических уровней, а следовательно и структуру излучательных переходов, которые можно зарегистрировать оптическими методами (например, фотографически). Это обстоятельство лежит в основе спектрального анализа. Так как молекулы — тоже сугубо квантовые системы, то каждое вещество (совокупность атомов или молекул) испускает и поглощает только кванты определенных энергий (или электромагнитное излучение определенных длин волн). Интенсивность тех или иных спектральных линий пропорциональна числу атомов (молекул), излучающих или поглощающих свет. Это соотношение составляет основу количественного спектрального анализа.

**Патент США № 3.820.901.** Концентрацию известных газов в смеси измеряют по пропусканию излучения лазерного источника с определенной длиной волны. Предварительно облучают монохроматическими излучениями с различными длинами волн каждый из содержащихся в смеси газов, концентрация которых известна, и определяют коэффициент поглощения каждого газа для каждой длины волны. Затем при этих длинах волн измеряют поглощение испытуемой смеси и, используя полученные величины коэффициента поглощения, определяют концентрацию каждого газа в смеси.

При измерениях с излучением, которое содержит большее число длин волн, чем находится компонентов в газовой смеси, можно обнаружить наличие неизвестных газов.

Для атомов и молекул спектры излучения и поглощения будут линейчатыми. Чтобы получить сплошной спектр, необходимо наличие плазмы, т. е. ионизированного состояния вещества. При ионизации электроны находятся вне атома или молекулы и, следовательно, могут иметь любые, непрерывно меняющиеся энергии. При рекомбинации этих электронов и ионов получается сплошной спектр, в котором присутствуют все длины волн.

### 18.5.3. Спектры испускания

Возбуждение (повышение внутренней энергии), или ионизация атомов происходит под действием различных причин; в частности, энергия для этих процессов может быть получена при нагревании тел. Чем больше энергии возбуждения, тем все более короткие волны (кванты с большей энергией) излучает нагретое тело. Поэтому при постоянном нагреве сначала появляется инфракрасное излучение (длинные волны), затем красное, к которому с ростом температуры добавляется оранжевое, желтое и т. д.; в конце концов получается белый свет. Дальнейший нагрев приводит к появлению ультрафиолетовых компонентов.

Излучательные и безызлучательные переходы в инфракрасной области часто используются для процессов нагрева и охлаждения.

Авт. свид. № 509.545, С 03 В 23/02. Стеклоформирующий инструмент, включающий металлический корпус с покрытием, отличающийся тем, что, с целью повышения производительности и улучшения качества изделий, покрытие выполнено двухслойным, причем промежуточный слой выполнен из материала, поглощающего ближнюю инфракрасную область, например, из графита, а наружный слой — из материала, пропускающего в этой области спектра, например, на основе прозрачной поликристаллической окиси алюминия.

Авт. свид. № 451.002, G 01 N 25/18. Способ измерений коэффициента теплопроводности твердых тел, включающий изотермическую выдержку образца, его охлаждение при постоянной температуре окружающей среды и реги-

страцию изменения температуры, отличающийся тем, что, с целью изменения теплопроводности частично прозрачных материалов, образец на стадии охлаждения помещают в вакуумное пространство и измеряют энергию, излучаемую поверхностью образца в спектральной области сильного поглощения.

#### 18.5.4. Вынужденное излучение

Излучательные квантовые переходы могут происходить не только спонтанно, но и вынужденно, под действием внешнего излучения, частота которого согласована с энергией данного перехода.

Излучение квантов света атомами и молекулами вещества под действием внешнего электромагнитного поля (излучения) называют вынужденным, или индуцированным излучением.

Существенным отличием вынужденного излучения является то, что оно есть точная копия внешнего излучения. Совпадают все характеристики — частота, поляризация, направление распространения и фаза. Благодаря этому вынужденное излучение при некоторых обстоятельствах может привести к усилению внешнего излучения, прошедшего через вещество, вместо его поглощения. Поэтому иначе вынужденное излучение называют отрицательным поглощением.

#### 18.5.5. Инверсия населенности

Для возникновения вынужденного излучения необходимо наличие в веществе возбужденных атомов, т. е. атомов, находящихся на уровнях с большей энергией. Обычно доля таких атомов мала. Для того, чтобы вещество усилило проходящее через него излучение, нужно, чтобы доля возбужденных атомов была велика, чтобы уровни с большей энергией были «заселены» частицами гуще, чем нижние уровни. Такое состояние вещества называют состоянием с инверсией населенности.

#### 18.5.6. Лазеры и их применение

Открытие советскими физиками Фабрикантом, Вудынским и Бутаевой явления усиления электромагнитных волн при прохождении через среду с инверсией населенности явилось основополагающим в деле развития



оптических квантовых генераторов (лазеров) — крупнейшего изобретения века.

Стержень из вещества с искусственно создаваемой инверсией населенности, помещенный между двумя зеркалами, одно из которых полупрозрачно, — вот принципиальная схема простейшего лазера.

Оптический резонатор из двух зеркал необходим для создания обратной связи: часть излучения возвращается в рабочее тело, индуцируя новую лавину фотонов. Излучение лазера монохроматично и когерентно в силу свойств индуцированного излучения.

Области применения лазеров обусловлены основными характеристиками их излучения, такими как когерентность, монохроматичность, высокая концентрация энергии в луче и малая его расходимость. Помимо ставших уже традиционными областей применения лазеров, таких как обработка сверхтвердых и тугоплавких материалов, лазерная связь и локация, медицина и получение высокотемпературной плазмы, — стали определяться новые интересные сферы их использования.

Чрезвычайно перспективны разработанные в последнее время лазеры на кристаллах, в отличие от обычных позволяющие плавно изменять частоту излучения в широком диапазоне от инфракрасной до ультрафиолетовой областей спектра. Так, например, предполагается лазерным лучом разрывать или наоборот, создавать строго определенные химические связи.

Ведутся работы по разделению изотопов с помощью перестраиваемых лазеров. Меняя частоту лазеров, настраивают его в резонанс с определенным квантовым переходом одного из изотопов и тем самым переводят изотоп в возбужденное состояние, в котором его можно ионизировать и с помощью электрических полей или определенных фотохимических реакций отделить от других изотопов.

А вот чисто изобретательское применение лазера в качестве датчика давления.

Авт. свид. № 238.194, G 01 L 14/04. Устройство для измерения давления с частотным выходом, содержащее упругий чувствительный элемент, заполненный газом и соединенный через разделитель с измеряемой средой, и частотомер, отличающееся тем, что, с целью повышения точности измерений, в нем в качестве упругого чувствительного элемента использована резонаторная ячейка газового квантового генератора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г. С. Оптика. — М.: Наука, 1976.
  2. Беллами Л. Инфракрасные спектры молекул. — М., 1957.
  3. Козелкин В. В., Усольцев И. Ф. Основы инфракрасной техники. — М., 1974.
  4. Дитчбери В. Физическая оптика. — М., 1965.
  5. Баццанов С. С. Структурная рефрактометрия. — М., 1959.
  6. Борн М. Атомная физика. — М., 1965.
  7. Ельяшевич М. А. Атомная молекулярная спектроскопия. — М., 1962.
  8. Зайдель А. Н. Основы спектрального анализа. — М., 1965.
  9. Дикарев В. И., Денисов Г. А., Роголев В. А., Сенокосов Е. С. Применение лазеров в народном хозяйстве. — СПб., 1999.
  10. Авт. свид. №№ 181.872, 251.912, 257.096, 271.532, 282.777, 283.327, 348.498, 427.990, 446.530, 453.664, 486.225, 496.270, 509.416, 540.076 и др.
- Патенты США №№ 3.554.628, 3.558.881, 3.560.738, 3.562.520, 3.796.099, 3.586.864, 3.588.258 и др. Патент ФРГ № 1.249.539.

## **ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОХИМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ**

### **19.1. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ**

#### **19.1.1. Фотоэффект**

Явление внешнего фотоэффекта состоит в испускании (эмиссии) электронов с поверхности тела под действием света; для этого явления экспериментально установленные зависимости объединяются квантовой теорией света. Свет есть поток квантов; кванты света, попадая в вещество, поглощаются им; избыточная энергия передается электронам, которые получают возможность покинуть это вещество — конечно, если энергия кванта больше, чем работа выхода электрона. Заметим, что квантовый характер света, проявляющийся в явлении фотоэффекта, не следует понимать как отрицание волновых свойств света; свет есть и поток квантов, и электромагнитная волна — просто в зависимости от конкретного явления проявляются или квантовые, или волновые свойства. На основе внешнего фотоэффекта создан ряд фотоэлектронных приборов (фотоэлементы различного назначения, фотокатоды в фотоумножителях и т. д.).

Внешний фотоэффект играет большую роль в развитии электрических разрядов; фотоэффект в газах определяет распространение электрического разряда в газах при больших давлениях, обуславливая высокую скорость распространения стримерной формы разряда (искры, молнии).

Авт. свид. № 488.718, В 29 С 3/00. Способ спектрометрии оптического излучения, отличающийся тем, что, с целью упрощения спектральных работ, спектральный состав излучения определяют по кинетическим энергиям фотоэлектронов, генерируемых при фотоионизации атомов и молекул.

Кроме внешнего фотоэффекта, существует внутренний фотоэффект. Квант света, проникая внутрь вещества, вы-

бывает электрон, переводя его из связанного состояния в атоме в свободное — таким образом при облучении полупроводников и диэлектриков из-за фотоэффекта внутри кристаллов появляются свободные носители тока, что существенно изменяет электропроводимость вещества. На основе внутреннего фотоэффекта созданы различного рода фоторезисторы-элементы, сильно изменяющие свое сопротивление под действием света.

Авт. свид. № 309.339, G 02 F 3/00. Устройство для управления световым лучом, выполненное в виде конденсатора, между электродами которого заключен слой вещества, изменяющего прозрачность под действием электрического поля, отличающееся тем, что, с целью уменьшения габаритов, один из электродов конденсатора, связанный с источником управляющей электродвижущей силы, выполнен из металла, обладающего эффектом возникновения фотоэлектродвижущей силы.

Разновидностью внутреннего фотоэффекта является вентильный фотоэффект — появление ЭДС в месте контакта двух полупроводников (или полупроводника и металла). Основное применение вентильных фотоэлементов — индикация электромагнитного излучения.

На основе вентильного фотоэффекта работают также солнечные батареи. Одним из приборов, работающих на вентильном фотоэффекте, является фотодиод, обладающий многими преимуществами по сравнению с обычными фотоэлементами.

Авт. свид. № 475.719, H 02 P 9/30. Устройство для регулирования напряжения электромашиных генераторов, содержащее датчик тока в виде шунта в цепи его нагрузки и импульсный транзисторный усилитель, ко входу которого подключены последовательно стабилизатор с ограничивающим резистором и формирователь пилообразного напряжения, а к выходу обмотки возбуждения генератора, отличающееся тем, что, с целью повышения надежности и точности регулирования, параллельно упомянутому шунту включен светодиод оптоэлектронной пары, фотодиод которой через цепь подпитки подключен параллельно ограничивающему резистору.

### 19.1.2. Эффект Дембера (фотодиффузный эффект)

В полупроводниках коэффициенты диффузии носителей тока (электронов и дырок) различны. Таким образом, если в какой-то части полупроводника фотоактивное

освещение создает одинаковое число электронов и дырок, то диффузия этих носителей будет происходить с разной скоростью, в результате чего в кристалле возникает ЭДС.

### 19.1.3. Фотопьезоэлектрический эффект

Обеспечить различие подвижности фотоэлектронов и фотодырок в полупроводнике можно каким-либо внешним воздействием. Так, при одностороннем сжатии освещенного полупроводника на гранях кристалла, перпендикулярных направлению сжатия, возникает ЭДС, знак которой зависит от направления сжатия и направления светового потока, а величина пропорциональна давлению и интенсивности света. Эффект возникает из-за того, что подвижности разноименных носителей тока, обусловленных внутренним фотоэффектом при упругой деформации кристалла, становятся неодинаковыми по отношению к различным направлениям.

### 19.1.4. Эффект Кикоина–Носкова (фотомагнитный эффект)

Суть эффекта состоит в возникновении электрического поля в полупроводнике при помещении его в магнитное поле и одновременном освещении светом, в составе которого имеются спектральные линии, сильно поглощаемые полупроводником. При этом возникшее электрическое поле перпендикулярно магнитному полю и направлению светового потока. Величина светомагнитной ЭДС пропорциональна магнитной индукции и интенсивности светового потока. Эта пропорциональность нарушается при больших освещенностях, когда происходит «насыщение». Механизм эффекта таков: в результате внутреннего фотоэффекта вблизи освещенной поверхности полупроводника в избытке образуются электроны и дырки, которые диффундируют в глубь кристалла. Продольный диффузионный ток под действием поперечного магнитного поля отклоняется и расщепляется, что приводит к возникновению поперечной ЭДС.

## 19.2. ФОТОХИМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Виды воздействия светового излучения на вещество весьма разнообразны. В частности, под действием света могут происходить реакции химических превращений ве-

ществ (фотохимические реакции). Одни из этих реакций приводят к образованию сложных молекул из простых (например, образование хлористого водорода при освещении смеси водорода и фтора), другие — к разложению молекул на составные части (например, фотохимические разложения бромистого серебра с выделением металлического серебра и брома), в результате третьих — молекула не изменяет своего состава, изменяется лишь ее пространственная конфигурация, приводящая к изменению ее свойства (возникают термоизомеры). Фотохимические процессы вызываются только поглощаемым светом, действующим на движение валентных электронов в атомах и молекулах. В основе таких процессов лежит явление фотоэффекта. Многие фотохимические превращения идут в два этапа. Первичный процесс характеризуется изменением молекулы под действием поглощенного ею кванта света — это собственно фотохимическая реакция. Во всех вторичных процессах мы имеем дело с сугубо химическими реакциями продуктов первичных реакций. Так, при образовании хлористого водорода первичным является лишь расщепление молекулы хлора, поглотившей квант света, на атомарный хлор, который далее через вторичные химические реакции приводит к образованию конечного продукта. Для первичных процессов справедлив закон эквивалентности: каждому поглощенному кванту света соответствует превращение одной поглотившей свет молекулы. В общем случае количество химически прореагировавшего вещества пропорционально световому потоку и времени его воздействия. Величина коэффициента пропорциональности определяется природой вторичных процессов.

Фотохимическую реакцию может вызвать лишь излучение, энергия кванта которого больше энергии активной молекулы. Этим объясняется повышение фотохимической активности ультрафиолетового излучения.

Следует отметить, что фотохимическими процессами объясняются многие природные явления, такие как синтез углеводов в листьях растений или чувствительность глаза к световому излучению.

Фотохимическая реакция разложения бромистого серебра и других его галогенидных солей используется для получения фотографических изображений. Изображение представляет собой локальные почернения фотоматериала из-за выделившихся под действием отраженного от объекта света частичек серебра.

### 19.2.1. Фотохромный эффект

Некоторые химические вещества, обычно со сложным строением молекулы, изменяют свою окраску под действием видимого или ультрафиолетового излучения. В отличие от обычного выцветания красок этот эффект обратим. Первоначальная окраска или отсутствие таковой восстанавливается через некоторое время в темноте, под действием излучения другой частоты или при нагревании. Но наведенную окраску можно и сохранить сколько угодно долго, если охладить фотохромное вещество или обработать его некоторыми газами, фотохромизм восстанавливается при соответствующей вторичной обработке.

Скорость окрашивания и интенсивность окраски зависят не только от структуры молекул самого фотохромного соединения, но и от среды, в которую оно может быть введено (стекло, керамика, жидкость, пластмасса, ткань и др.).

Многие фотохромные вещества при облучении интенсивным светом могут темнеть, причем их «быстродействие» достигает нескольких микросекунд. Это позволяет использовать фотохромные тела как светозатворы для защиты глаз или светочувствительных приборов от неожиданной вспышки мощного излучения. Есть возможность использовать их и как регуляторы светопропускания в зависимости от интенсивности света.

Фирма «Корнинг Гласс» выпустила светозащитные очки с фотохромными стеклами, изменяющими степень светопропускания в зависимости от интенсивности потока ультрафиолетовых лучей.

Авт. свид. № 267.967, G 11 C 13/04. 1. Устройство для предоставления информации в трехмерной форме, отличающееся тем, что, с целью улучшения стереоскопического восприятия трехмерных изображений и упрощения устройства, оно содержит три параллельных ряда плоских панелей, на противоположных концах которых нанесены изготовленные из фотохромного материала активные зоны, одна из которых служит для просмотра изображения, а другая — для обработки информации, причем все панели установлены на разной высоте на трех осях вращения, сдвинутых относительно друг друга на  $120^\circ$ .

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что над каждой из фотохромных информационных панелей в зоне, противоположной зоне просмотра, установлена матричная излучающая панель.

3. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что к каждой из панелей подведена линейка волоконных световодов, связанных с источником импульсов излучения, активизирующего фотохромный материал.

### 19.2.2. Фотоферроэлектрический эффект

В основе фотохимических процессов лежит взаимодействие излучения с электронами вещества. Это предполагает наличие возможности управлять ходом фотохимической реакции воздействием электрического поля. Возможно, что природа открытого фотоферроэлектрического эффекта объясняется стимуляцией фотохромного эффекта электрическим полем. Эффект состоит в следующем. На тонкую прозрачную пластину керамики с включением железа, свинца, лантана, циркония и титана, помещенную в постоянное электрическое поле, перпендикулярно ее поверхности проектируют негативное изображение в видимых и ультрафиолетовых лучах. При этом на пластине появляется видимое позитивное изображение. Здесь наблюдается интересная особенность: при изменении направления поля на обратное изображение из позитивного становится негативным. Изображение устойчиво и стирается лишь при равномерном облучении ультрафиолетовыми лучами с одновременной переполюсовкой поля.

Американские специалисты, открывшие этот эффект, предполагают его использовать в устройствах для хранения визуальной информации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лукьянов С. Ю. Фотоэлементы. — М.-Л., 1968.
2. Таланский С. Революция в оптике. — М., 1971.
3. Соколов А. В. Оптические свойства металлов. — М., 1961.
4. Арсеньева-Гейль А. Н. Внешний фотоэффект в полупроводниках и диэлектриках. — М., 1957.
5. Вьюб Р. Фотопроводимость твердых тел. — М., 1962.
6. Васильев А. М. и др. Полупроводниковые фотопреобразователи. — М., 1971.
7. Рывкин С. М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. — М., 1968.
8. Ландсберг Г. С. Оптика. — М.: Наука, 1976.
9. Баршевский В. Квантово-оптические явления. — М.: Высшая школа, 1968.
10. Фотоферроэлектрический эффект//Техника молодежи, 1977, № 5.



## ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

Люминесценцией называется излучение, избыточное над тепловым излучением тела, и имеющее длительность, перекрывающую период световых колебаний; люминесценция возникает при возбуждении вещества за счет притока энергии и, в отличие от других видов «холодного свечения» (например, излучение Вавилова—Черенкова), продолжается в течение некоторого времени после прекращения возбуждения.

По продолжительности послесвечения выделяют **флуоресценцию** (менее 10 сек) и **фосфоресценцию**; последняя продолжается заметный промежуток времени после снятия возбуждения (от 10 сек до нескольких часов).

Способностью люминесцировать обладает большая группа газообразных, жидких и твердых веществ, как органических, так и неорганических (люминофоров). Характер процесса люминесценции существенным образом зависит от агрегатного состояния вещества и типа возбуждения.

Люминофоры являются своеобразными преобразователями энергии из одного вида в другой; на входе это может быть энергия электромагнитного излучения, энергия ускоренного потока частиц, энергия химических реакций или механическая энергия, — любой вид энергии, кроме тепловой, на выходе — световое излучение. Отдельные атомы и молекулы люминофора, поглощая один из этих видов энергии, возбуждаются, т. е. переходят на более высокие энергетические уровни по сравнению с равновесным состоянием, и затем самопроизвольно совершают обратный переход, излучая избыток энергии в виде света. Способ возбуждения лежит в основе классификации различных видов люминесценции.

## 20.1. ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ, ВОЗБУЖДАЕМАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

### 20.1.1. Фотолюминесценция

Это свечение, возникающее при поглощении люминофором ИК-, видимого или УФ-излучения. Спектры поглощения и излучения люминофоров связаны правилом Стокса-Люмиаля, согласно которому максимум спектра излучения смещен по отношению к максимуму спектра поглощения в сторону длинных волн (например, при облучении ультрафиолетом люминофор излучает видимый свет).

Авт. свид. № 331.271, G 01 M 3/20. Способ контроля герметичности сварных изделий с помощью люминофора, при котором на изделие направляют ультрафиолетовые лучи и судят о герметичности по свечению люминофора, отличающийся тем, что, с целью повышения производительности путем осуществления контроля непосредственно в процессе сварки, люминофорную суспензию наносят на внутреннюю поверхность свариваемых деталей перед сваркой, а в качестве источника ультрафиолетовых лучей используют сварочную дугу.

Наиболее широко фотолюминесценция применяется в лампах дневного света. В них свечение люминофора происходит под действием ультрафиолета, которым богато излучение газоразрядной части лампы (в связи с наличием паров ртути).

### 20.1.2. Антистоксовские люминофоры

Однако есть исключение из правила Стокса-Люмиаля — это так называемые антистоксовские люминофоры, которые при возбуждении в ИК-области спектра излучают в видимой области.

Применение этих люминофоров связано с преобразованием инфракрасного излучения в видимое, например, для визуализации излучения инфракрасных лазеров, для создания лазеров видимого диапазона с инфракрасной накачкой, а также светодиодов.

### 20.1.3. Рентгенолюминесценция

Специфика возбуждения рентгеновскими лучами, по сравнению с фотовозбуждением, состоит в том, что на люминофор воздействуют фотоны со значительно большей энергией. При этом свечение люминофора вызывается не непосредственным действием самих рентгеновских лучей, а воздействием электронов, вырывааемых из основы

люминофора рентгеновскими лучами. Вследствие этого рентгенолюминесценция имеет многие общие черты с катодолюминесценцией.

Основное применение — в экранах для рентгеноскопии и рентгенографии.

## **20.2. ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ, ВОЗБУЖДАЕМАЯ КОРПУСКУЛЯРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

### **20.2.1. Катодолюминесценция**

возбуждается воздействием на люминофор потока электронов. Основное применение — визуализация электронного изображения на экранах кинескопов телевизоров, осциллографов и других подобных приборов, а также электронно-оптических преобразователей.

### **20.2.2. Ионолюминесценция**

представляет собой свечение, возникающее при бомбардировке люминофора пучком ионов.

При ионолюминесценции, так же как и при катодолюминесценции, энергия возбуждения поглощается в тонком приповерхностном слое люминофора, поэтому здесь значительное влияние оказывает состояние поверхности, в частности, хемосорбция различных газов.

### **20.2.3. Радиолюминесценция**

Для создания самосветящихся красок постоянного действия, не нуждающихся в источниках внешнего возбуждения, в люминофор вводят радиоактивные изотопы, продукты распада которых (например, альфа- и бета-частицы) возбуждают в нем свечение. Время, в течение которого люминофор излучает свет, определяется периодом полураспада изотопа (десятки лет). Радиолюминесценция все более широко применяется в дозиметрии радиоактивных излучений.

## **20.3. ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ, ВОЗБУЖДАЕМАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ**

### **20.3.1. Электролюминесценция (эффект Дестрио)**

Многие кристаллические порошкообразные люминофоры, помещенные в конденсатор, питаемый переменным напряжением 100...220 В с частотой 400...3000 Гц, на-

чинают интенсивно люминесцировать. Спектральный состав и интенсивность излучения существенно зависят от частоты возбуждения. Некоторые люминофоры излучают и при возбуждении постоянным электрическим полем.

**Авт. свид. № 320.710.** Система для измерения распределения давления на поверхности модели летательного аппарата, содержащая чувствительный элемент, оптическое сканирующее устройство и фотоэлектрический регистратор, отличающаяся тем, что, с целью обеспечения возможности непрерывного измерения профиля давления на исследуемой поверхности вдоль заданной линии, в ней чувствительный элемент выполнен в виде электролюминесцентного конденсатора, одна обкладка которого образована поверхностью металлической модели, а другая — прозрачным электропроводящим слоем, между которыми нанесен электролюминесцентный слой и слой диэлектрика, диэлектрическая проницаемость которого зависит от давления, например, слой эпоксидной смолы.

Основная область применения электролюминесценции — индикаторные устройства, подсветка шкал, преобразователи изображения. Применение электролюминофоров считают перспективным для создания телевизионных экранов.

### **20.3.2. Инжекционная электролюминесценция (эффект Лосева)**

Свечение возникает под действием зарядов, инжектируемых в полупроводниковые кристаллы. При пропускании тока через полупроводниковый диод в области перехода инжектируются избыточные носители тока (электроны и дырки), рекомбинация которых сопровождается оптическим излучением.

Широкое применение основанных на этом эффекте светодиодов обусловлено следующими их особенностями: высокая надежность (срок службы  $10^6$  часов), малое энергопотребление (1,5...30 В, 10 мА), малоинерционность ( $10^{-9}$  сек), высокая яркость свечения в зеленой, красной и инфракрасной областях спектра.

**Авт. свид. № 245.892, G 01 R 3/25.** Устройство для регистрации электрических сигналов на фото пленку, содержащее источник электрических сигналов, измерительный механизм и механизм протягивания пленки, отличающееся тем, что, с целью повышения надежности и упрощения конструкции, в нем измерительный механизм

выполнен в виде полупроводникового электролюминесцентного преобразователя, состоящего из кристалла полупроводника с широкой запрещенной зоной, содержащего р-п-переход и контакты с выводами, служащими для пропускания тока электролюминесценции и тока управления площадью свечения.

## 20.4. ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

Люминесценция, возбуждаемая за счет энергии химических реакций, называется хемилюминесценцией. Этим видом люминесценции объясняется свечение гнилушек, светлячков, многих глубоководных рыб.

Хемилюминесценция использована фирмой «Ремингтон Армс» для создания лампы, в которой свечение возникает при воздействии кислорода воздуха на некоторые химически активные вещества.

### 20.4.1. Радиокалолюминесценция

Частным случаем хемилюминесценции является радиокалолюминесценция — излучение вещества-катализатора при адсорбции и рекомбинации на его поверхности свободных атомов или радикалов в молекулы.

Патент США № 3.659.100. Способ анализа загрязнения атмосферы окислами азота и серы, основанный на хемилюминесценции между люминофором и перекисью водорода. В качестве люминофора используется 5-амино-2,3-дигидро-4-фтолозин-диол.

### 20.4.2. Кандолюминесценция

Если источником радикалов служит пламя, то свечение называют кандолюминесценцией. Для возникновения кандолюминесценции необходим контакт пламени с люминофором, при этом он не должен сильно нагреваться.

## 20.5. МЕХАНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

Источником возбуждения люминесценции может служить и механическая энергия. Такой процесс называют механо- или триболюминесценцией. Чаще всего возникает при трении или ударе двух тел, сопровождающемся их разрушением (так, сахар при раскалывании иногда светится).

Авт. свид. № 275.497, G 01 N 21/00. Способ изучения структурных превращений полимерных материалов по

интенсивности и характеру люминесценции, отличающийся тем, что, с целью упрощения и повышения точности, оценивают интенсивность и характер механолюминесценции, возбуждаемой при механических деформациях и разрушении полимерных материалов.

## 20.6. РАДИОТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ (РТЛ)

Оказалось, что если сильно охлажденный образец вещества, предварительно облученный гамма-лучами, альфа-частицами или электронами, постепенно нагревать, то он начинает интенсивно светиться. Практически все вещества могут таким образом «накапливать» в себе свет и долго сохранять его. И лишь при нагреве свет как бы «оттаивает» — начинается рекомбинация «замороженных» электронов, сопровождаемая световым излучением. Цвет свечения постепенно меняется, изменяется и его интенсивность. При этом пики интенсивности соответствуют температурам структурных переходов, что особенно заметно у различных полимеров. Даже незначительные изменения структуры вещества: повышение степени кристаллизации, изменение взаимного расположения макромолекул, существенно влияют на характер свечения. РТЛ весьма чувствительна к механическим напряжениям в полимере.

Все это позволило создать на основе РТЛ простые и точные методики анализа структуры, изучения степени однородности смесей, исследования деформационных свойств и других характеристик полимеров, причем для анализа достаточно образца весом в сотые доли миллиграмма.

## 20.7. СТИМУЛЯЦИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Интересной особенностью люминесценции, возбуждаемой каким-либо источником энергии, является усиление свечения при воздействии другого источника энергии. Происходит так называемая стимуляция люминесценции. Стимулирующие воздействия могут оказывать изменение температуры, видимое, ИК- и УФ-излучения, электрическое поле, присутствие некоторых газов и т. д. Стимуляция люминесценции электрическим полем называется эффектом Гудлена-Поля.

Авт. свид. № 286.100, Н 01 О 3/00. Способ получения изображения, состоящий в том, что люминесцентный экран равномерно облучают ультрафиолетовым светом, проектируют на экран изображение в инфракрасном

свете, фиксируют свечение экрана на светочувствительном материале, отличающийся тем, что, с целью расширения области чувствительности, одновременно с облучением ультрафиолетовым светом прикладывают к экрану электрическое поле и после проектирования изображения подают переменное напряжение на экран, причем люминофор, из которого изготовлен экран, должен обладать эффектом Гудлена-Поля.

## 20.8. ТУШЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Факторы, стимулирующие люминесценцию, при определенных условиях могут дать обратный эффект, т. е. уменьшить интенсивность свечения или совсем прекратить его. Это явление называют тушением люминесценции. Повышение температуры, изменение влажности, ИК-облучение, электрическое поле, изменение внешнего давления, наличие некоторых газов — все эти факторы могут привести к тушению люминесценции. Так, например, присутствие кислорода, бензохинона или йода уменьшает интенсивность фотолюминесценции, в то время как присутствие молекул  $H_2O$  увеличивает ее; наличие электрического поля, перпендикулярного поверхности люминофора, тушит радиокалолюминесценцию, изменение же направлений поля на обратное усиливает свечение.

Авт. свид. № 510.186, А 01 С 1/00. Способ выделения жизнеспособных семян растений, включающий отбор семян по люминесценции, отличающийся тем, что, с целью сохранения целостности семян, их обрабатывают ослабляющими люминесценцию веществами с последующей отборкой семян, имеющих пониженную интенсивность свечения.

Великобритания, акц. заявка № 1.327.839. Прибор для непрерывного определения концентрации кислорода или кислородосодержащих соединений в потоке газа. Определение основано на способности указанных веществ гасить фотолюминесценцию, например, хрена или овалена.

## 20.9. ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

Излучение люминесценции при некоторых условиях может быть поляризованным (обычно это линейная поляризация, очень редко — циркулярная).

Для поляризации люминесценции необходимо, чтобы люминофор обладал либо собственной, либо наведенной анизотропией. Поляризованные люминофоры получают при механическом растяжении полимерных клеток, «пропитанных» анизотропными люминесцирующими молекулами. Искусственную ориентацию таких молекул можно вызвать также с помощью сильных электрических и магнитных полей или же в потоке жидкости (аналогично эффекту Максвелла). В случае фотолюминесценции ее поляризация обнаруживается при возбуждении поляризованным светом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Физический энциклопедический словарь. Т. 3. Люминесценция. — М., 1963.
2. Вавилов С. И. О «горячем» и «холодном» свете. — М.: Знание, 1959.
3. Соколов В. А., Горбань А. Н. Люминесценция и адсорбция. — М.: Наука, 1963.
4. Неорганические люминофоры. — Л.: Химия, 1975.
5. Верещагин И. К. Электролюминесценция кристалла. — М.: Наука, 1974.
6. Ребанс П. Люминесценция. — Тарту, 1968.
7. Авт. свид. №№ 179.072, 180.859, 181.823, 186.366, 187.080, 227.305, 232.500, 232.542, 234.710, 276.332, 257.052, 274.486, 276.495, 280.979, 288.432, 340.966, 512.452, 526.910, 526.972 и др.  
Патенты США №№ 3.261.979, 3.561.271, 3.562.528, 3.566.114 и др.



## АНИЗОТРОПИЯ И СВЕТ

Превращение естественного света в поляризованный и изменение типа поляризации при различных оптических явлениях почти всегда связаны с оптической анизотропией вещества, т. е. с различием оптических свойств по различным направлениям. Оптическая анизотропия является следствием анизотропии структуры вещества. Создавать или менять анизотропию структуры вещества можно воздействием самых различных факторов (деформация, электрическое поле и т. д.). Этим и объясняется разнообразие эффектов, так или иначе влияющих на поляризацию светового излучения.

В ряде таких эффектов поляризация света происходит без дополнительного воздействия на вещество. Так, например, естественный свет, отраженный под углом Брюстера, полностью линейно поляризован, а правоциркулярно-поляризованный свет при перпендикулярном отражении от стеклянной пластинки превращается в левоциркулярно-поляризованный.

### 21.1. ДВОЙНОЕ ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ

На границе анизотропных прозрачных тел (в первую очередь кристаллов) свет испытывает двойное лучепреломление, т. е. расщепляется на два взаимно-перпендикулярно поляризованных луча, имеющих различные скорости распространения в среде — обыкновенный и необыкновенный. Первый из них поляризован перпендикулярно оптической оси кристалла и распространяется в нем как в изотропной среде. Второй луч поляризован в главной плоскости кристалла и испытывает на себе все «превратности анизотропии». Так, его коэффициент пре-

ломления изменяется с направлением, он преломляется даже при нормальном падении на кристалл.

Так происходит двулучепреломление в одноосных кристаллах. В случае двуосных кристаллов картина расщепления несколько сложнее.

Эффект двойного лучепреломления положен Николем в основу изобретенной им поляризационной призмы. Он использовал различие показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей, создав для одного из них условия полного внутреннего отражения, после которого этот луч, изменив свое направление, поглощается зачерненной боковой гранью призмы. Другой луч полного внутреннего отражения не испытывает и проходит сквозь призму, а так как это полностью поляризованный луч, то на выходе призмы получается полностью линейно-поляризованный свет.

## 21.2. МЕХАНООПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Здесь рассматривается ряд эффектов, приводящих к возникновению оптической анизотропии под действием механических сил.

### 21.2.1. Фотоупругость

— так называется возникновение в изотропных прозрачных твердых телах оптической анизотропии и связанного с ней двойного лучепреломления под действием механических нагрузок, создающих в телах деформации.

При пропускании луча света через такое предварительно нагруженное тело возникают два луча различной поляризации, интерференция между которыми приводит к образованию интерференционной картины, вид которой позволяет судить о величинах и распределении напряжений в теле или же об изменениях структуры вещества. Поскольку оптическая анизотропия обусловлена именно нарушениями первоначальной изотропной структуры вещества, то эффект фотоупругости позволяет визуализировать как упругие деформации, так и остаточные, а это значит, что о деформациях и нагрузках можно судить и после снятия этих нагрузок.

Фотоупругость наблюдается и в кристаллах, т. е. в веществах, уже обладающих свойством анизотропии. При этом изменяется характер анизотропии: например, в

одноосном кристалле может возникнуть двойное преломление в направлении его оптической оси, вдоль которой он первоначально изотропен.

Эффект фотоупругости — один из самых тонких методов изучения структуры и внутренних напряжений в твердых телах.

Авт. свид. № 249.025, G 01 F 5/00. Способ оценки распределения контактных напряжений по величине деформации пластичной прокладки, располагаемой в зоне контакта между соприкасающимися поверхностями, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, в качестве пластичной прокладки используют пленку из оптически чувствительного материала, которую затем просвечивают поляризованным светом в направлении действия контактных сил и по картине полос судят о распределении контактных напряжений.

### 21.2.2. Эффект Максвелла

Так называют возникновение оптической анизотропии (двойного лучепреломления) в потоке жидкости. Этот эффект обусловлен двумя причинами: преимущественной ориентацией частиц жидкости или растворенного в ней вещества (полной ориентации мешает броуновское движение) и их деформацией, которые возникают под действием гидродинамических сил при относительном смещении прилежащих слоев жидкости, т. е. при наличии градиента скорости по сечению потока. В основном возникновение градиента скоростей в потоке определяется тормозящим воздействием стенок (например, трубы). Относительная роль ориентации и деформации частиц различна в разных жидкостях и зависит от свойств и структуры молекул; в случае длинных анизотропных частиц или молекул основную роль играет ориентация, для изотропных — больший вклад дает деформация, т. к. ориентация таких частиц в потоке незначительна. По сути дела, эффект Максвелла — это вариант эффекта фотоупругости для жидкостей. Отсутствие в жидкости напряжений упругой деформации компенсируется ее «динамизацией», приведением ее в движение, что создает деформацию отдельных молекул.

Величина эффекта Максвелла зависит, в частности, от формы и размеров частиц, что позволяет использовать его для измерения этих величин.

Практическое применение эффекта в основном лежит в области тонких исследований биологических объектов, таких как определение размеров ряда вирусов, изучение структуры многих белковых молекул и др.

### 21.3. ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Так называют явления, связанные с прохождением света через среды, помещенные в электрическом поле.

#### 21.3.1. Эффект Керра

Многие изотропные вещества, помещенные в электрическое поле, приобретают свойства одноосных кристаллов, т. е. обнаруживают оптическую анизотропию, приводящую к двойному лучепреломлению света, проходящего через вещество перпендикулярно направлению поля. При этом величина двойного лучепреломления пропорциональна квадрату напряженности поля и ее знак не меняется при изменении направления поля на обратное.

Величина эффекта зависит от вещества, его температуры и длины волны света. В газах эффект Керра мал, а в жидкостях его величина гораздо больше. Аномально сильно он проявляется в нитробензоле и подобных ему жидкостях.

Наиболее часто указанный эффект реализуется в так называемых электрооптических затворах Керра. Прозрачную кювету с электродами для создания поля, заполненную нитробензолом, помещают между скрещенными поляризатором и анализатором таким образом, что направление поля составляет угол  $45^\circ$  с их главными плоскостями поляризации. Если поле отсутствует, такое устройство непрозрачно для света. При наложении поля линейно поляризованный свет при прохождении через кювету расщепляется на два перпендикулярно поляризованных луча, имеющих в пределах кюветы различные скорости распространения. При этом часть его проходит через анализатор. Затвор открыт. Высокая скорость срабатывания такого затвора ( $10^{-11}$  сек) обусловила его применение в исследованиях быстро протекающих процессов и для высокочастотной (до  $10^9$  Гц) модуляции оптических сигналов. Применение эффекта дает хорошие результаты и в том случае, когда требуется безынерционная пространственная модуляция света (отклонение луча, его расщепление и т. п.).

Взаимосвязь через эффект Керра двух полей — электрического и оптического позволяет применять его для дистанционного измерения электрических величин оптическими методами.

Еще два примера применения эффекта Керра.

Авт. свид. № 235.350, G 02 B 3/4. Оптическая система с управляемым фокусным расстоянием, отличающаяся тем, что, с целью безынерционного изменения фокусного расстояния, она выполнена в виде цилиндрического рабочего тела из вещества, обладающего электрооптическим эффектом, помещенного внутрь, например, шестипольного конденсатора, электрическое поле которого создает такое распределение показателя преломления в веществе рабочего тела, что падающий на его торец параллельный пучок света собирается в фокусе, положение которого на оси системы зависит от приложенного к конденсатору напряжения.

Авт. свид. № 464.792, G 01 K 11/12. Устройство для измерения температуры, содержащее источник света, пластины из матированного прозрачного материала, пространство между которыми заполнено жидкостью с близким к пластинам показателем преломления и с различным по знаку или величине температурным коэффициентом показателя преломления, отличающееся тем, что, с целью расширения диапазона измерений, в него введены прозрачные электроды, выполненные, например, на основе пленок окиси олова, нанесенные снаружи на пластины, подключенные к источнику питания, а в качестве жидкости, заполняющей пространство между пластинами, использован нитробензол. Значительным квадратичным электрооптическим эффектом обладают и некоторые кристаллы.

Эффект Керра, вызванный электрическим полем световой волны, называется высокочастотным. Он проявляется в том, что для мощного излучения показатель преломления жидкости зависит от интенсивности света, т. е. среда становится нелинейной, что для интенсивных лазерных пучков приводит к самофокусировке.

### 21.3.2. Эффект Поக்கельса

Возникновение двойного лучепреломления в кристалле при наложении электрического поля в направлении распространения света называется эффектом Поக்கельса. При этом величина разности фаз расщепленных лучей пропорциональна первой степени напряженности поля

(линейный электрооптический эффект, а также продольный электрооптический эффект). Наиболее ярко эффект реализуется в кристалле дигидрофосфата калия.

Эффект Поккельса по сравнению с эффектом Керра имеет меньшую зависимость от температуры. Применение этих эффектов аналогичны (затворы, вращатели плоскости поляризации, индикаторы электрического поля, модуляторы света).

Авт. свид. № 440.606, G 01 R 13/40. Оптико-электронное устройство для измерения мощности, содержащее монохроматический источник излучения, магнитооптическую ячейку Фарадея с поляризатором и анализатором, фотоприемник и усилитель с нагрузкой в выходной цепи, отличающееся тем, что, с целью повышения точности измерения, оно снабжено последовательной цепочкой элементов, состоящей из четвертьволновой пластины, электрооптической ячейки Поккельса и дополнительного анализатора, установленного между анализатором ячейки Фарадея и фотоприемником.

Авт. свид. № 398.153, G 02 F 1/22. Модулятор света, включающий полупроводниковую структуру, генерирующую домены сильного поля, боковая поверхность или часть боковой поверхности которой покрыта диэлектриком, отличающийся тем, что, с целью расширения частотного диапазона модулируемого излучения, уменьшения потерь и увеличения коэффициента модуляции, диэлектрическое покрытие выполнено из материала с константой электрооптического эффекта большей, чем у материала полупроводниковой структуры.

## 21.4. МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

К ним относят группу явлений, связанных с прохождением электромагнитного излучения через вещества, помещенные в магнитное поле.

### 21.4.1. Эффект Фарадея

Если линейно поляризованный свет проходит через вещество, помещенное в магнитное поле, вектор напряженности которого совпадает с направлением распространения света, то плоскость поляризации света поворачивается на некоторый угол. Этот угол пропорционален длине пути света в веществе и напряженности поля, и обратно

пропорционален квадрату длины волны, зависит от свойств вещества. Так, он сильно изменяется вблизи линий поглощения данного вещества. Особенно сильный эффект наблюдается в тонких прозрачных пленках железа, никеля и кобальта.

При прохождении света в прямом и обратном направлении углы поворота вследствие эффекта Фарадея не компенсируются, а суммируются, в отличие от естественного вращения поляризации в некоторых веществах. Диамагнетики в магнитном поле всегда обнаруживают положительное вращение (т. е. вращение по часовой стрелке, если смотреть по направлению поля), пара- и ферромагнетики — отрицательное.

Авт. свид. № 491.916, G 02 F 1/22. Позиционно-чувствительный датчик с магнитооптической модуляцией, содержащей поляризатор, анализатор и ячейку Фарадея, отличающийся тем, что, с целью повышения чувствительности, магнитооптический активный элемент ячейки Фарадея выполнен составным из двух частей, например, призм с противоположными по знаку постоянными Вердо, расположенных симметрично относительно оптической оси системы.

Природа эффекта объясняется различным влиянием магнитного поля на скорость распространения в веществе правоциркулярно- и левоциркулярно-поляризованных световых волн, в результате чего между ними накапливается разность фаз, приводящая при их сложении к возникновению волн с повернутой плоскостью поляризации.

Как обычно, возможные применения вытекают из физической сущности эффекта; управление поворотом плоскости поляризации с помощью магнитного поля или же измерение магнитных полей по углу поворота плоскости поляризации.

Авт. свид. № 479.147. Устройство магнитооптического воспроизведения информации с магнитного носителя, содержащее источник плоскополяризованного света, анализатор, фотоприемник и магнитную головку, отличающееся тем, что, с целью повышения чувствительности, его магнитная головка снабжена магнитооптическим кристаллом, установленным на участке заднего зазора, расположенным на одной линии между источником плоскополяризованного света и анализатором пучка этого света.

Часто эффект Фарадея используют для создания взаимных элементов, т. е. устройств, пропускающих излучение только в определенном направлении.

#### 21.4.2. Обратный эффект

Существует и так называемый обратный эффект Фарадея, возникающий в среде магнитного поля под действием мощного циркулярно-поляризованного света, вызывающего циркулярное движение электронов.

#### 21.4.3. Магнитооптический эффект Керра

Частным случаем эффекта Фарадея является магнитооптический эффект Керра — при отражении под любым углом, в том числе и по нормали к поверхности, линейно-поляризованного света от намагниченного ферромагнетика возникает эллиптически-поляризованный свет. Фактически магнитооптический эффект Керра — это вращение плоскости поляризации части излучения в тонком поверхностном слое ферромагнетика в магнитном поле.

Магнитооптическая установка для автоматической записи магнитных характеристик ферромагнетиков, в которой использование магнитооптического эффекта Керра, позволяет снимать кривые намагничивания и гистерезиса на участках поверхности размером  $1 \text{ мк}^2$ .

#### 21.4.4. Эффект Коттона—Мутона

При распространении света в веществе перпендикулярно магнитному полю возникает двойное лучепреломление, величина которого пропорциональна квадрату напряженности магнитного поля (эффект Коттона—Мутона).

Наложение сильного магнитного поля ориентирует хаотически расположенные молекулы (если последние имеют постоянный магнитный момент), что и приводит к оптической анизотропии. Этот эффект много слабее, чем электрооптический эффект Керра, в технике пока применяется редко.

#### 21.4.5. Прямой и обратный эффекты Зеемана

Механизм всех магнитооптических явлений тесно связан с механизмом прямого и обратного эффекта Зеемана.

Прямой (обратный) эффект Зеемана состоит в расщеплении спектральных линий испускаемого (поглощаемого) излучения под действием магнитного поля на излучающее (поглощающее) вещество. При этом неполяризованное излучение с частотой в направлении поля расщепляется на две компоненты (линии) с частотами, первая из



которых поляризована по левому кругу, а вторая — по правому. В направлении же, перпендикулярном полю, расщепление имеет такой характер: имеется три линейно-поляризованные компоненты с различными частотами. Крайние компоненты поляризованы перпендикулярно магнитному полю, средняя же, с неизменной частотой, поляризована вдоль поля и интенсивность вдвое превосходит соседние. Величина смещения частоты пропорциональна индукции магнитного поля. Эффект Зеемана обусловлен расщеплением в магнитном поле энергетических уровней атомов или молекул на подуровни, между которыми возможны квантовые переходы.

**Патент ФРГ № 1.287.836.** Кольцевой лазер для определения скорости вращения имеет трубу и отражательные зеркала, которые создают замкнутый оптический контур, включающий ось лазера, а также средства, с помощью которых световые лучи обособляются и накладываются, циркулируя в оптическом контуре в противоположных направлениях. Лазер отличается тем, что предусмотрено устройство, служащее для воздействия на трубу лазера осевого магнитного поля таким образом, что, в соответствии с эффектом Зеемана, создаются два луча с противоположной круговой поляризацией. Предусмотрено устройство, которое обеспечивает поступательное движение только одного такого луча в каждом направлении вдоль оптического контура.

В заключение отметим, что механизм эффекта Фарадея, по сути дела, обусловлен обратным эффектом Зеемана. Им же объясняется избирательное поглощение радиоволн парамагнитными телами, помещенными в магнитное поле.

## 21.5. ФОТОДИХРОИЗМ

Существует ряд явлений, при которых оптическая анизотропия в среде вызывается воздействием на нее энергии светового излучения. К ним относятся эффект фотодихроизма, а также поляризация люминесценции.

### 21.5.1. Дихроизм

— это зависимость величины поглощения телами света от его поляризации. Это свойство в той или иной мере присуще всем поглощающим свет веществам, обладающим анизотропной структурой. Классический пример такого вещества — кристалл турмалина. Он обладает двойным

лучепреломлением и, кроме того, очень сильно поглощает обыкновенный луч. Поэтому даже из тонкой пластины турмалина естественный свет выходит линейно-поляризованным. Дихроизм обнаруживают не только кристаллы, но и многочисленные некристаллические тела, обладающие естественной или искусственно созданной анизотропией (молекулярные кристаллы, растянутые полимеры, пленки, жидкости, ориентированные в потоке, и т. д.).

Эффект фотодихроизма состоит в возникновении дихроизма в изотропной среде под действием на эту среду поляризованного света. Свет вызывает фотохимические превращения молекул вещества, изменяя их коэффициент поглощения. Поляризованный свет преимущественно взаимодействует с молекулами определенной ориентации, что и приводит к появлению анизотропии поглощения.

### 21.5.2. Естественная оптическая активность

Кроме сред с линейным дихроизмом, т. е. различным поглощением света, обладающего различной линейной поляризацией, существуют среды, обладающие циркулярным дихроизмом, по-разному поглощающие правоциркулярно- и левоциркулярно-поляризованный свет. Циркулярным дихроизмом, как правило, обладают вещества с естественной оптической активностью.

Естественной оптической активностью называют способность вещества поворачивать плоскость поляризации прошедшего через него света. Величина угла поворота зависит от длины волны света, т. е. имеет место вращательная дисперсия. Кроме того, этот угол пропорционален толщине слоя вещества, а для растворов — и концентрации.

Явление естественной оптической активности используется при определении концентрацией различных растворов, в сахарометрии.

Естественная оптическая активность объясняется явлением двойного циркулярного лучепреломления, т. е. расщеплением света на две циркулярно-поляризованные компоненты — левую и правую. Следует отметить, что эффект Фарадея объясняется возникновением циркулярного преломления в магнитном поле. Направление вращения плоскости поляризации при естественной оптической активности (левостороннее или правостороннее) зависит от природы вещества. Это связано с существованием веществ в двух зеркальных формах — левой и правой (свойство асимметрии).

## 21.6. ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРИ РАССЕЯНИИ СВЕТА

Рассеянный на неоднородных средах естественный свет в некоторых направлениях является линейно-поляризованным (и, наоборот, линейно-поляризованный свет в некоторых направлениях не рассеивается). В основе этого явления (как и при поляризации света, отраженного под углом Брюстера) лежит природа самой электромагнитной поперечной световой волны, а вовсе не анизотропия и ориентация молекул, что, лишь препятствует полной поляризации рассеянного света.

Поляризация при рассеянии — единственный метод поляризации рентгеновского излучения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Жевандров Н. Д. Анизотропия и оптика. — М., 1974.
  2. Ландсберг Г. С. Оптика. — М., 1976.
  3. Шерклиф У. Поляризованный свет. — М., 1965.
  4. Фрахт М. Фотоупругость. Т. 1-2, — М., 1950.
  5. Вайсберг А. Физические методы в органической химии. Т. 2. — М., 1957.
  6. Квантовая электроника. — М.: Советская энциклопедия, 1969.
  7. Дитчбери Р. Физическая оптика. — М., 1965.
  8. Иос С. Курс теоретической физики. — М., 1963.
  9. Борн М. Атомная физика. — М., 1965.
  10. Авт. свид. №№ 154.680, 178.905, 243.870, 268.819, 391.672, 416.595, 474.772 и др.
- Патенты США №№ 3.588.214, 3.558.215, 3.588.415, 3.588.223, 3.811.778 и др.

## ЭФФЕКТЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ

До сих пор мы рассматривали оптические явления в предположении, что интенсивность световой волны не влияет на физику явления. Так оно и было до тех пор, пока в оптике оперировали со световыми волнами, напряженность электрического поля которых была пренебрежимо мала по сравнению с внутриатомным электрическим полем ( $10^9$  в/см), определяющим силы связи оптического электрона с ядром атома. Однако, с появлением лазеров, опыты со световыми пучками, интенсивность которых достигает  $10^8 \dots 10^{10}$  вт/см<sup>2</sup> (электрическое поле световой волны соизмеримо с внутриатомным), показали, что существует сильная зависимость характера оптических эффектов от интенсивности излучения. Эта зависимость начинает сказываться при достижении некоторых пороговых значений интенсивности.

Оптические эффекты, характер которых зависит от интенсивности излучения, называются нелинейными. Далее приведем некоторые из них.

### 22.1. ВЫНУЖДЕННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА

Случайные изменения плотности среды, обусловленные тепловыми движениями молекул (тепловые акустические волны), рассеивают световую волну и модулируют ее по частоте, при этом возникают сателлиты с частотами, равными сумме и разности частот световой волны и тепловых акустических колебаний (спонтанное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна). Однако, отношение интенсивности сателлитов к интенсивности падающего излучения составляет лишь  $10^{-6}$ . При увеличении интенсивности падающего излучения выше порогового значения

происходит следующее. Под действием электрического поля из-за явления электрострикции возникают импульсы избыточного давления, достигающего в поле лазерного луча десятков тысяч атмосфер. Возникает акустическая волна давления (гиперзвук,  $10^{10}$  гц), изменяющая показатель преломления по закону бегущей волны. Эти изменения показателя преломления образуют в среде как бы дифракционную решетку, на которой и происходит рассеяние световой волны. При этом интенсивность сателлитов становится сравнимой с интенсивностью падающей волны, а количество их возрастает. Описываемый эффект называется вынужденным рассеянием Мандельштама-Бриллюэна.

При достаточно больших интенсивностях падающего излучения нелинейная среда может стать генератором звука со световой накачкой. С помощью лазеров удается возбуждать мощные (до 10 квт) гиперзвуковые колебания во многих жидкостях и твердых телах.

Свой нелинейный аналог имеет и комбинационное рассеяние. При вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР) мощное световое излучение возбуждает в среде когерентные колебания молекул, на которых и происходит его рассеяние с образованием суммарных и разностных сателлитов. Частота наиболее мощного из них меньше частоты падающего света на частоту молекулярных колебаний.

Так, при рассеянии красного излучения лазера в камере со сжатым водородом, когда интенсивность достигает пороговой величины около  $10^8$  вт/см<sup>2</sup>, число компонент в рассеянном излучении настолько возрастает и их интенсивность настолько высока, что луч, выходящий из газа, из красного становится белым.

Аналогичен опыт по ВКР в жидкостях, например, в нитробензоле. Особенность здесь в том, что рассеянные компоненты с различной длиной волны пространственно разделены и образуют на экране цветные кольца.

Вынужденное рассеяние применяется, в основном, для исследования структуры и свойств вещества, для изучения нелинейных процессов в средах. Используется также для накачки полупроводниковых ОКГ, для управления параметрами твердотельных ОКГ.

Может использоваться для создания преобразователей частоты мощного когерентного света в ультрафиолетовой, видимой и особенно инфракрасной областях спектра.

## 22.2. ГЕНЕРАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ГАРМОНИК

При рассеянии интенсивного лазерного излучения в жидкостях и кристаллах, помимо описанных выше боковых спектральных компонентов, обнаруживаются компоненты с частотами, в точности кратными частоте падающего излучения (двукратными, трехкратными и т. д.), называемые оптическими гармониками. В некоторых кристаллах эти гармоники могут составлять до 50% рассеянного излучения. Таким образом, если направить красное излучение рубинового лазера (0,69 мкм) на кристалл дигидрофосфата калия, то на выходе можно получить невидимое ультрафиолетовое излучение (0,345 мкм).

## 22.3. ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ СВЕТА

Поместим нелинейные кристаллы в оптический резонатор и направим на него мощное световое излучение накачки. Одновременно подадим на кристалл два слабых излучения с частотами, сумма которых равна частоте излучения накачки. При этом в кристалле возникает генерация двух мощных когерентных световых волн, частоты которых равны частотам этих двух слабых излучений. В действительности же, кроме волны накачки нет необходимости ни в каких дополнительных излучениях, т. к. в кристалле всегда найдутся два спонтанно излучающих фотона с соответствующими частотами. Существенным является то, что при повороте кристалла в резонаторе частоты генерируемых волн будут плавно перестраиваться, в сумме оставаясь равными частоте волны накачки. Это позволяет создавать оптические преобразователи, квантовые усилители и генераторы, плавно перекрывающие широкий диапазон излучений — от видимого до далекого инфракрасного при фиксированной частоте накачки.

Патент ФРГ № 1.287.229. Преобразователь частоты содержит нелинейный электрооптический двоякопреломляющий кристалл, через который когерентный входной световой сигнал пропускается под таким углом к оптической оси кристалла, что внутри кристалла возникают два колебания с другими частотами. Эти колебания согласованы между собой и в кристалле модулируются по фазе или регулируются одновременно. Нелинейный кристалл расположен внутри оптического резонатора и

подвергается не только электрооптической модуляции, но и регулировке по температуре с целью подстройки частоты.

## 22.4. ЭФФЕКТ НАСЫЩЕНИЯ

Так называют эффект уменьшения интенсивности спектральной линии поглощения (или вынужденного излучения) при увеличении мощности падающего на вещество внешнего электромагнитного излучения. Причиной эффекта насыщения является выравнивание населенности двух уровней энергии, между которыми под воздействием излучения происходят вынужденные квантовые переходы «вверх» (поглощение) и «вниз» (вынужденное излучение). В случае поглощения при этом уменьшается доля мощности излучения, поглощенного веществом. Абсолютная величина поглощаемой мощности при этом, однако, не падает, а увеличивается, стремясь к некоторому пределу. В случае активного вещества с инверсией населенностей эффект насыщения приводит к уменьшению мощности вынужденного излучения, что ставит предел величине усиления в квантовых усилителях.

Однако, эффекту нашли полезное применение в лазерной технике, где он используется для модуляции добротности оптических резонаторов с помощью просветляющих под действием мощного излучения светофильтров. Кроме того, эффект насыщения используется для создания инверсии населенностей в трехуровневых квантовых системах.

## 22.5. МНОГОФОТОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ

Если эффект насыщения делает среду, непрозрачную для слабого светового поля, прозрачной для сильного, то для оптически прозрачных сред может иметь место обратная ситуация. Здесь интенсивное излучение может поглощаться гораздо сильнее, чем слабое. Некоторая аналогия фотохромному эффекту, однако механизм совершенно иной. Он состоит в том, что при больших плотностях излучения и элементарном акте взаимодействия света с веществом могут одновременно поглощаться два или несколько фотонов, сумма энергии которых равна энергии перехода.

Эффект многофотонного поглощения используется, в основном, в так называемой многофотонной спектроскопии, дающей дополнительную информацию о строении вещества, недоступную для обычной спектроскопии.

### 22.5.1. Многофотонный фотоэффект

Эффект состоит в том, что при высокой интенсивности светового поля ионизация атома может происходить под действием излучения, для которого энергия кванта меньше энергии ионизации. Это объясняется тем, что происходит одновременное поглощение нескольких фотонов, сумма энергии которых больше энергии ионизации атома. Здесь просматривается некая аналогия с антистоксовской люминесценцией. Следует отметить, что, например, для двухфотонного фотоэффекта величина тока в фотоэлементе пропорциональна квадрату мощности лазерного излучения.

## 22.6. ЭФФЕКТ САМОФОКУСИРОВКИ

Известно, что первоначально параллельный пучок света по мере распространения в среде (включая и вакуум) расплывается за счет дифракционных явлений. Это справедливо при малых интенсивностях света, пока еще среда остается линейной. С увеличением мощности светового пучка его расходимость начинает уменьшаться. При некоторой критической мощности пучок может распространяться, не испытывая расходимости (режим самоканализации), а при мощности, превышающей критическую, пучок скачком сжимается к оси и сходится в точку на некотором расстоянии от места входа в среду, ставшую теперь нелинейной. Происходит процесс самофокусировки. Это расстояние, называемое эффективной длиной самофокусировки, обратно пропорционально квадратному корню из интенсивности пучка. Оно также зависит от его диаметра и оптических свойств среды. Открытие эффекта самофокусировки принадлежит Г. А. Аскарьяну (открытие № 67).

Физические причины этого эффекта заключаются в изменении показателя преломления среды в сильном световом поле. В это изменение вносят свой вклад такие эффекты, как электрострикция, высокочастотный эффект Керра и изменение преломления среды за счет ее нагрева в световом пучке. Вследствие этих эффектов среда в зоне пучка становится оптически неоднородной: показатель преломления среды определяется теперь распределением интенсивности световой волны. Это приводит к явлению нелинейной рефракции, т. е. периферийные лучи пучка отклоняются к его оси, в зону с большей оптической плотностью.

Таким образом, нелинейная рефракция начинает конкурировать с дифракционной расходимостью. При взаимной компенсации этих процессов и наступает самока-



нализация, переходящая в самофокусировку при превышении критической мощности пучка. Процесс самофокусировки выделяется среди прочих нелинейных эффектов тем, что он обладает «лавинным» характером. Действительно, даже малое увеличение интенсивности в некотором участке светового пучка приводит к концентрации лучей в этой области, а следовательно и к дополнительному возрастанию интенсивности, что усиливает нелинейную рефракцию и т. д.

Отметим, что критические мощности самофокусировки относительно невелики (для нитробензола — 25 квт, для некоторых сортов оптического стекла — 1 вт), что создает реальные предпосылки использования описанного эффекта для передачи энергии на большие расстояния. Интересно, что при самофокусировке излучения импульсных лазеров в органических жидкостях пучок после «схлопывания» распространяется не в виде одного пучка, а распадается на множество короткоживущих ( $10^{-10}$  сек) узких (мкм) областей очень сильного светового поля (около  $10^7$  в/см) — световых нитей. Это явление объясняют тем, что при самофокусировке лазерных импульсов нелинейная среда работает как линза с изменяющимися во времени фокусными расстояниями, и быстрое движение фокусов (скорость порядка  $10^6$  м/с) в сочетании с аберрациями «нелинейной линзы» может создать длинные и тонкие световые каналы.

В нелинейной оптике уже обнаружено множество интереснейших эффектов. Кроме описанных выше, к ним относятся такие эффекты, как оптическое детектирование, гетеродинирование света, пробой газов мощным излучением с образованием так называемой «лазерной искры», светогидравлический удар, нелинейное отражение света и др. Некоторые из них уже нашли применение не только в научных исследованиях, но и в промышленности. Так, например, светогидравлический удар применяют для штамповки, упрочнения материалов, для ударной сварки и т. д., что наиболее себя оправдывает в производстве микроэлектроники, в условиях особо чистых поверхностей.

## 22.7. СВЕТОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР (ОТКРЫТИЕ № 65)

Эффект заключается в том, что при пропускании мощного лазерного излучения через жидкость в ней возникают акустические волны с высоким давлением, достигаю-

щим миллиона атмосфер, сопровождающиеся вспышкой белого света и выбросом жидкости на значительные расстояния, при этом тела, помещенные вблизи удара, подвергались сильным деформациям и разрушению. Точной теории эффекта еще нет, однако уже ясно, что это целый комплекс явлений. Здесь и самофокусировка, увеличивающая интенсивность световой волны в малом объеме, и первоначальное ее поглощение, и усиленное поглощение света образующейся плазмой, что приводит к возникновению ударной волны и затем кавитации в жидкости. Предварительная фокусировка лазерного пучка и введение в жидкость поглощающих добавок значительно усиливает проявление эффекта.

## 22.8. ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ СКАЧКИ

Нелинейная оптика — новая и постоянно развивающаяся наука. Многообразие ее эффектов далеко не исчерпано известными ныне. Так, совсем недавно были предсказаны теоретически гистерезисные скачки отражения и преломления на границе нелинейной среды — целый класс новых эффектов нелинейной оптики. Данных об экспериментальном подтверждении их существования пока нет.

Суть эффекта заключается в следующем. Если под небольшим углом скольжения на границу раздела двух сред с близкими значениями диэлектрической проницаемости, одна из которых нелинейна, падает пучок мощного светового излучения, то при изменении интенсивности излучения (угол падения фиксирован), когда она достигает определенного значения, может произойти скачок от прохождения к полному внутреннему отражению (ПВО), при обратном изменении интенсивности скачок от ПВО к прохождению произойдет уже при другом ее значении. Такие же скачки могут наблюдаться и при изменении угла падения, когда фиксировано значение интенсивности.

Если существование этих эффектов подтвердится, то они могут быть широко использованы для исследования нелинейных свойств вещества и в лазерной технике. Так, например, гистерезисная оптическая ячейка может служить идеальным затвором в лазере при генерации гигантских импульсов, т. к. в режиме ПВО практически не поглощает энергии; с помощью гистерезисных эффектов можно будет с большой точностью измерять интенсивность излучения, фиксируя скачки, и т. д.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Квантовая электроника. Маленькая энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия, 1969.
2. Бломберген Н. Нелинейная оптика. Пер. с англ. — М., 1966.
3. Шуберт М., Вильгельми В. Введение в нелинейную оптику. Пер. с нем. — М.: Мир, 1973.
4. Пернике Ф., Медвинтер Дж. Прикладная нелинейная оптика. Пер. с англ. — М.: Мир, 1976.
5. Конюшая Ю. П. Открытия и научно-техническая революция. — М.: Московский рабочий. 1974.

## СИЛИКАТЫ СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

Силикаты широко применяются в производстве строительных и вяжущих материалов, а также стекла и керамики. Для изготовления силикатных материалов используют главным образом такое сырье, как известняк, глину, песок, гравий и т. д., которые в достаточных количествах встречаются почти повсеместно.

Для улучшения количества силикатных строительных материалов необходимо интенсифицировать производство, что может быть достигнуто оптимизацией технологических процессов переработки сырья.

### 23.1. НОВЫЕ СОРТА БЕТОНА

Силикатный бетон можно изготовить непосредственно из песка и извести. Последние годы внимание исследователей и практиков привлекает полимербетон — новый материал, представляющий собой сочетание органических полимерных материалов с бетоном.

Для облегчения пропитки бетонных изделий жидким мономером используют термодиффузию, контакционный вакуум, определенное давление. А для полых изделий (трубы, колонны) — также метод «внутреннего вакуумирования». Глубину пропитки можно регулировать также изменением пористости бетонного камня. После пропитки элементы из бетона необходимо упаковать в фольгу, чтобы по возможности уменьшить потери от испарения. Полимеризация достигается либо облучением гамма-лучами, либо с помощью катализатора.

Полимербетоны могут использоваться повсюду, где имеется сильное механическое, химическое и физическое воздействие.

Пластоцементные бетоны (добавка поливинилацетона) и пластобетона (использование эпоксидных смол, полиэфирной смолы или полисульфидов) применяются для использования и поддержания в надлежащем состоянии бетонных поверхностей, подвергающихся большому нагрузкам под открытым небом. Особенно рекомендуется использовать их там, где требуется малое пылеобразование и где нужно считаться с воздействием масел, бензина или дизельного топлива.

Широкое развитие получило производство волокнистых строительных материалов, что вызвано непрерывно растущей потребностью строительной индустрии в легких и устойчивых к влиянию погоды конструкционным материалам.

Какие проблемы предстоит решить исследователям, работающим в области химии цемента? Это прежде всего быстрое и точное определение фазового состава цементного клинкера и расширение сведений о минералах, входящих в его состав. Эти данные нужны для дальнейшего выяснения механизма клинкерообразования, чтобы возможно было лучше, чем до сих пор, управлять процессами и получать цемент с оптимальными свойствами.

В области отверждения цемента в центре внимания находится быстрое и точное определение фазового состава цементного камня и углубление знаний о кристаллохимии фаз, содержащих кристаллизационную воду. При этом стремятся к повышению прочности, улучшению коррозионной устойчивости бетона, большему использованию органических полимеров в сочетании с цементом, использованию золы и т. д.

## **23.2. РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ СТЕКЛА**

Другой важной отраслью силикатной промышленности является производство и переработка стекла. Перечислим некоторые из важнейших направлений исследований, которые сегодня находятся в центре внимания работающих в этой области ученых:

высококремнеземистые стекла с высокой температурой плавления;

теплопоглощающие и теплоотражающие стекла;

стекло из стеклянного волокна и пеностекла;

многослойные безопасные стекла;

фототропные (затемненные) стекла;

высококачественные оптические стекла и стекла со специальными свойствами для изготовления лазеров;

устойчивые и неустойчивые стекла (например, для химических реактивов и трубопроводов);

полупроводниковые стекла для интегрированных переключающих схем (стекла с эффектом «памяти»).

Перспективным оказалось сочетание стекла с искусственными смолами. Уже несколько процентов стеклянного волокна многократно увеличивает способность искусственных смол сопротивляться нагрузке. Помимо использования стекловолокна в строительстве, из стеклопластиков делают кузова легковых автомобилей, лодки, защитные шлемы и много другой высокопрочной продукции.

### **23.3. НОВЫЙ ОБЛИК КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Еще одной важной отраслью промышленности, которая основывается главным образом на переработке силикатов и алюминатов, является керамическая промышленность.

Можно упомянуть о некоторых актуальных сегодня направлениях исследований в керамической промышленности, таких, как процессы с пониженной температурой обжига и методы быстрого обжига, при которых первичный (бисквитный) и вторичный (глазированный) обжиги объединены. К тому же кругу проблем принадлежит создание крупноформатных легких элементов отделки наружных стен, устойчивых к влиянию погоды, и новых стеклокерамических материалов, полученных с помощью управляемой кристаллизации стекла. Стеклокерамические продукты, которые называют витрокерамами, высококачественны, и можно ожидать, что их применение в будущем значительно увеличится.

### **23.4. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЖИЛИЩНОМ ДОМОСТРОЕНИИ**

Практика строительства в России и за рубежом показывает, что преимущественным направлением в жилищном домостроении в ближайшие годы будет строительство домов с комбинированными конструктивными системами (ККС). Среди вариантов конструкций с ККС наиболее перспективным является вариант, сочетающий абсолютно жесткий монолитный каркас с эффективными

ограждающими конструкциями зданий. Монолитный каркас при этом может быть трех типов:

- а) с несущими поперечными стенами;
- б) с несущими продольными стенами;
- в) с перекрытиями на несущих колоннах.

Наиболее простой является стена из газобетона, облицованная кирпичом. При этом варианте фасады зданий имеют великолепный вид из кирпича, штукатурки и стекла различных форм. Если обработать стену из кирпича, керамической плитки, бетона плазменным факелом, то образуется стекловидный расплав, надежно защищающий строение от влаги, неблагоприятного воздействия атмосферных условий. Если перед обработкой нанести на стену растворы солей различных металлов, то в пламени факела произойдет их разложение и стена приобретает эффективную цветную окраску.

В качестве стенового ограждения могут служить газобетон, газокерамзитобетон, перлит, вермикулит, минераловолокнистые плиты.

В зданиях с ККС не последнее значение имеет правильный выбор конструкций и схемы размещения лестнично-лифтового узла (ЛЛУ) и вентиляционных блоков. ЛЛУ необходимо размещать так, чтобы на одной лестничной площадке разместилось не менее 6 квартир. Здания с ККС позволяют выполнять вентиляцию из всех помещений квартиры в одном вентиляционном блоке. При такой системе нет необходимости выполнять технические этажи. В связи с этим, на последних этажах зданий появляется возможность проектировать великолепные «пентхаузы», устраивать зимние сады с выходом на эксплуатируемую кровлю.

Плазменная технология создала новый строительный материал, который вообще не знало человечество. Попытки использовать в качестве связующего материала в бетонных конструкциях вместо стали чугун, алюминий или другие металлы не удавалось из-за слабого сцепления между этим металлом и минеральными наполнителями. В плазменной струе происходит быстрое поверхностное оплавление частиц минерала, что обеспечивает их надежное сцепление с различными металлами. Получаемый таким способом металлобетон обладает рядом достоинств: он, например, прочнее обычного бетона на сжатие в 10 раз, на растяжение — в 100 раз. Бетон на основе алюминия легче железобетона. Внедрение металлобетонов в строительные конструкции обещает значительный экономический эффект.

Большинство указанных перспективных направлений в жилищном домостроении освоено специалистами ЛенСпецСМУ и другими строительными организациями.

Патент РФ № 2.055.127, Е 04 В 1/35. Способ возведения монолитных зданий с несущими стенами, включающий установку инвентарных колонн, изготовление плит перекрытий одна над другой, подъем их по колоннам, выполнение несущих стен в контуре здания и последующее удаление колонн, отличающийся тем, что плиты перекрытий выполняют со сквозными отверстиями вдоль нагруженных и внутренних стен в пределах их толщины, а стены возводят между выведенными в эксплуатационное положение плитами перекрытий в инвентарной опалубке путем ее заполнения бетонной смесью через отверстия в вышележащем перекрытии.

Авт. свид. № 1.021.737, Е 04 С 2/46. Наружная стеновая кирпичная панель, включающая внутреннюю, наружную кирпичные стенки и слой теплоизоляции, отличающаяся тем, что, с целью повышения теплотехнических качеств, кладка стенок и диафрагмы выполнена из кирпича со сквозными и несквозными пустотами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бутовский И. Н., Матросов Ю. А. Теплозащита энергетически эффективных зданий. — М., 1987.
2. Чиченков Ю. В. и др. Трехслойные стеновые панели с гибкими связями и эффективным утеплением//Бетон и железобетон, 1981. — № 3.
3. Авт. свид. №№ 775.254, 697.658, 1.479.585, 1.811.550, 1.408.034; патенты РФ №№ 2.032.799, 2.038.450; патент США № 4.280.974, патент Великобритании № 1.283.449, патент Франции № 2.520.030, патент ФРГ № 3.149.974 и др.



## **ХИМИЧЕСКАЯ БИОНИКА**

Химическая бионика основана на использовании принципов осуществления химических процессов, протекающих в живых организмах.

### **24.1. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ**

Все химические реакции в живой природе протекают с большой скоростью и специфичностью. Очень важно, что эти реакции в отличие от наших промышленных процессов не загрязняют окружающую среду: все продукты жизнедеятельности одних организмов полностью используются другими организмами, что обеспечивает равновесие в природе.

### **24.2. СИНТЕЗ С ПОМОЩЬЮ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ**

Живые организмы, особенно бактерии, используются в ряде случаев непосредственно для синтеза. Фактически такой подход применялся еще в глубокой древности, когда не знали о существовании бактерий, примером чему может служить спиртовое брожение с превращением природных углеводов в спирт. В последнее время начинают широко использоваться рост и размножение бактерий, растущих, например, на углеводородах нефти, для выделения из них белков и жиров.

Это в какой-то степени подобно обычному животноводству, но кормами вместо травы и злаков служат углеводороды нефти, а роль коров выполняют бактерии. Пока так получают лишь корм для скота, но не исключено в принципе, что подобным образом можно будет создавать искусственную пищу и для людей.

## **24.3. ИММОБИЛИЗОВАННЫЕ ФЕРМЕНТЫ**

Иммобилизованные (лишенные движения) ферменты обладают высокой активностью и сохраняют ее в течение нескольких месяцев при температурах до 100°C.

### **24.3.1. Модели зрительных ферментов**

Глаз является исключительно тонким прибором, чувствительным уже к одному кванту света. Причина такой чувствительности пока неясна. Известно лишь, что в процессе восприятия света принимает участие окрашенный белок родопсин, в состав которого входит остаток цис-ретиналя. В тех местах, куда попадает свет, появляется окрашивание. Отсюда возникает возможность создания нового типа бессеребряного фотографического процесса. Не исключено, что в отдаленном будущем на этой основе будет создано искусственное зрение, хотя пока определенные трудности заключаются в решении проблемы передачи сигнала от палочек и колбочек глаза к зрительным нервам, а затем уже в мозг.

## **24.4. ЭНЕРГЕТИКА ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ**

В живых организмах вместо больших котлов, электростанций и камер двигателей действуют молекулы аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), образование которых происходит в своеобразных «зарядочных станциях» — митохондриях, которые имеют микроскопические размеры.

### **24.4.1. Матричный эффект молекулы фермента**

Данный эффект проявляется в высокой интенсивности используемого света в ферментативной реакции, которая делает более жесткой окисляющуюся молекулу. Известно, что квантовый выход флуоресценции сильно возрастает с увеличением жесткости молекулы.

### **24.4.2. Энергетика живого мира**

Основной источник энергии животных — пища. Некоторая часть энергии окисления пищи (до 40%) тратится на подготовку ее к дальнейшему окислению вплоть до

образования карбоновых кислот и далее до получения такого «топлива», как НАД-Н — одного из нескольких универсальных восстановителей, обладающих сравнительно высоким восстановительным потенциалом. В самом процессе окислительного фосфорилирования, где за счет энергии окисления подготовленных элементов пищи создается АТФ, КПД может достигать практически 100% так что суммарный процент энергии, получаемый в виде АТФ, составляет примерно 60% от калорийности пищи.

#### 24.4.3. Мышечная работа

Переход энергии АТФ в энергию работы мышц близок к 50%. Разработка искусственного мускула приведет к созданию совершенно нового типа мышц, в основе которых будет лежать действие рычагов, а не вращения. Эти машины будут обладать гибкостью ног, рук и даже пальцев. Сюда будут относиться и новые конструкции шагающих механизмов и уборочных машин, в частности сельскохозяйственных, — для сбора картофеля, фруктов и т. д. Человек умножит свои мускульные силы в сотни раз и, прочно закрепив достаточно большие крылья, сможет летать по воздуху с легкостью и маневренностью птицы, что, вероятно, доставит ему величайшее наслаждение. Все это сейчас фантазия. Но разве мы не научены тем, что результаты современной науки и техники часто превосходят фантазию сказок?

#### 24.4.4. Солнечная энергия

Солнце посылает на Землю 40 триллионов ( $4 \cdot 10^{13}$ ) Ккал в секунду. Из них до поверхности Земли доходит примерно половина. За несколько десятков минут Солнце подает на Землю количество килокалорий, равное калорийности всего ежегодно добываемого сегодня топлива (в основном уголь, нефть, газ).

При использовании солнечной энергии необходимо решить много научных и технических проблем.

### 24.5. ХИМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ

Задача химии заключается в том, чтобы научиться получать искусственные катализаторы, которые по эффективности приближались бы к биологическим или даже превышали их.

Кроме катализаторов полимеризации, в последние годы были открыты многие эффективные комплексные катализаторы для целого ряда различных синтезов. Так же, как биологические катализаторы, они позволяют проводить реакции с большой скоростью и степенью специфичности. Сюда можно отнести катализаторы гидрирования, окисления олефинов, гидрокарбонилирования, олигомеризации и даже фиксации азота воздуха и т. д. Число таких катализаторов все время увеличивается, а области их применения расширяются.

## НОВЫЕ ПУТИ МЕДИЦИНЫ

Достижения физики и техники послужили основой для таких ценных методик исследования, как ультрацентрифугирование, электрофорез, хромография, фотометрия, изотопная индикация, абсорбционная спектроскопия и многих других. С помощью этих методик ученые выяснили роль внутриклеточных образований, распределения в них ферментных систем, составили представления о внутриклеточной химической динамике.

### 25.1. РЕАКЦИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ПЕРЕАМИНИРОВАНИЯ АМИНОКИСЛОТ

Исключительно важную роль сыграло открытие реакции ферментативного переаминирования аминокислот, которая имеет первостепенное биологическое значение в процессах биосинтеза и распада аминокислот.

### 25.2. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ РОЛЬ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ

Открытие генетической роли нуклеиновых кислот, выяснение сложной структуры гена, расшифровка генетического кода и выяснение ряда закономерностей — все это приблизило исследователей к созданию новых форм жизни, к управлению наследственностью организма. Сейчас наука, по существу, подошла к решению проблемы получения живых организмов искусственным путем.

### 25.3. ПРОБЛЕМА ВИРУЛЕНТНОСТИ БАКТЕРИЙ

Важными представляются результаты, достигнутые в решении проблемы вирулентности («ядовитости») бактерий на генетическом уровне. Были также раскрыты ос-

новые закономерности передачи эпизодических факторов наследственности у бактерий; эти исследования имеют прямое отношение к выявлению механизмов, нередко наблюдающихся в клинике устойчивости бактерий к лекарствам.

## 25.4. МЕТОД ЭЛЕКТРОРЕНТГЕНОГРАФИИ

Несомненный интерес представляет еще одно достижение российских медиков и инженеров — метод электрорентгенографии, принцип которой был разработан еще в 1916 году русским изобретателем Е. Гориным. При электрорентгенографии оказываются ненужными и фотолаборатория, и рентгеновская пленка. Вместо нее используется обычная писчая бумага. Это возможно благодаря использованию фотооптических свойств селена — одного из полупроводников. Быстрота электрорентгенографического процесса делает новый метод чрезвычайно ценным при необходимости срочной рентгенодиагностики, например, во время хирургических операций, в травматологии, при острых состояниях, обусловленных заболеваниями внутренних органов или несчастным случаем.

Новый метод позволяет использовать рентгенографическое исследование не только в стационарах и поликлиниках, но и в экспедиционных полевых условиях. Легкость и дешевизна перезарядки пластин делают возможным применять этот метод в условиях повышенной радиации, например, в космосе, на Луне.

## 25.5. ПРОЦЕСС «ОБНОВЛЕНИЯ» КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ

Благодаря научно-технической революции, огромным достижениям естествознания, особенно биологии, в последнее время происходит процесс своеобразного «обновления» клинической медицины. Коренным образом меняются принципы и методы диагностики, лечения и профилактики болезней. Это хорошо видно на примере современной кардиологии, чрезвычайно важной проблеме борьбы с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Общеизвестно, что эти заболевания (атеросклероз, ишемическая болезнь сердца, гипертоническая болезнь) стали в последние годы «врагом № 1».

По единодушному мнению ученых, основной, ведущей в кардиологии проблемой является атеросклероз.

Неизменный интерес ученых вызывают непознанные еще до конца механизмы этого заболевания.

Не так давно считалось, что в возникновении атеросклероза повинны избыточное питание и малая физическая активность.

Новый подход к изучению атеросклероза, новые данные, полученные учеными, неопровержимо доказали, что в развитии этой болезни играют роль многие системы организма.

Стоит напомнить, что именно в нашей стране была в свое время разработана неврогенная теория происхождения гипертонии, ишемической болезни сердца, инфаркта миокарда, заслугой отечественной медицины является и так называемая инфильтрационно-липидная теория атеросклероза. Эти фундаментальные теории сыграли немалую роль в успехах, которые удалось достигнуть медицине в борьбе с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Ныне благодаря применению новых методов диагностики и лечения российским кардиологам удалось получить несравненно лучшие результаты. Вот конкретный пример.

Явление образования винтового потока крови в сердечно-сосудистой системе человека и животных (открытие № 87, В. Н. Захаров, В. И. Шумаков).

Сущность открытия состоит в том, что в системе кровообращения существует вращательно-поступательное движение крови. Такое движение крови обусловлено структурно-функциональными связями в системе кровообращения. Оказалось, что такое движение оптимально для организма не только с позиции энергетических затрат, но и препятствует тромбообразованию в норме в сосудистом русле.

Согласно общепринятым представлениям движение крови в сердечно-сосудистой системе имеет либо ламинарный, либо турбулентный характер, однако авторы открытия впервые визуализировали истинное движение крови в различных отделах системы кровообращения и показали, что в системе кровообращения существует винтовой поток крови, причем вращательно-поступательное движение крови разнонаправленно в большом и малом кругах кровообращения.

Новая концепция механики кровообращения позволит решить многочисленные проблемы научной и практической медицины. В частности, практическая реализация новой концепции механики кровообращения позволит:

разработать методы диагностики врожденных пороков сердца и кровеносных сосудов в эмбриогенезе на ранних сроках беременности;

создать лекарственные препараты с заданными фармакокинетическими свойствами;

разработать новые физиологические, адекватные для организма и биосовместимые устройства для кардиохирургии, контактирующие с движущейся кровью;

разработать физиологические, адекватные для организма человека способы хирургических операций на сердце;

разработать профилактические мероприятия по предупреждению рецидивов в онкологии;

разработать профилактические мероприятия по предупреждению рецидивов при септических состояниях.

Многообещающими являются исследования по созданию искусственного сердца, которое может временно заменить работу больного сердца, а это очень важно для спасения жизни человека.

Немало нового появилось в последнее время в такой важной отрасли медицины, как онкология. Связано это прежде всего с фундаментальными теоретическими исследованиями, с прогрессом биологических наук. Несколькими примерами.

В диагностике доброкачественных и злокачественных опухолей используются как классические — патогистологические, так и методы морфологического исследования (цитологические, гистологические, цито-гистохимические, иммунно-морфологические, электронно-микроскопические и др.).

Установленная ранее корреляционная связь между количеством дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) в ядрах клеток и хромосомным набором позволила использовать данные микроспектрофотометрических исследований содержания Фельген-ДНК в качестве теста для определения их плоидности, что весьма важно для клеточного состава популяции клеток, формирующих опухоль (открытие № 68, Г. Г. Автандилов, И. А. Казанцева, А. В. Червонная).

Практическое значение открытия заключается в том, что разработанные на его основе методы дифференциальной диагностики степени предопухолевых изменений и прогрессирующего злокачественного роста объективизируют, унифицируют, уточняют распознавание стадий развития опухолевых изменений (доброкачественных



опухолей, дисплазий, опухолей «ин ситу», злокачественных новообразований).

Установлено, что при рождении ребенка с массой 4000 г и более у его матери значимо возрастает риск возникновения рака шейки и тела матки, толстой кишки, меланобластомы кожи, рака яичников, желудка и молочной железы, а у самих детей статистически достоверно увеличивается вероятность развития лимфогранулематоза, лимфо- ретикулосаркомы, остеосаркомы и опухоли Вильямса (нефробластомы) (открытие № 71, Л. М. Берштейн).

Патент РФ № 2.082.981, G 01 N 33/53. Способ диагностики злокачественных опухолей, включающий исследование сыворотки крови пациента, отличающийся тем, что на сыворотку негемолизированной крови наслаивают раствор цитохрома С, визуально определяют реакцию преципитации, затем смешивают указанные жидкости, определяют спектрофотометрически уровень низко- и высокоспиновой форм цитохрома С, рассчитывают их соотношение и при наличии реакции преципитации и отношения форм цитохрома в пределах 225–633 ед. плотности диагностируют злокачественную опухоль.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров В. Н., Полуэктов Л. В., Шумаков В. И. и др. Ламинарный вихрь в системе кровообращения и новые принципы конструирования протезов для кардиохирургии. Препринт. Новосибирск, 1992.
2. Автандилов Г. Г. Медицинская морфометрия. — М., 1990.
3. Берштейн Л. М., Дильман В. М. Прогноз у больных раком молочной железы, имевших в анамнезе роды крупным плодом//Вопросы онкологии, 1981, № 6.
4. Татаринов Ю. С. Эмбриональные и плацентарные белки как маркеры злокачественных опухолей. В кн.: Современные проблемы экспериментальной и клинической медицины. — М., 1979.

## ЯВЛЕНИЯ МИКРОМИРА

### 26.1. РАДИОАКТИВНОСТЬ

Под радиоактивностью обычно понимают самопроизвольное превращение неустойчивых изотопов одного вещества в изотопы другого; при этом происходит испускание элементарных частиц и жесткого электромагнитного излучения. Различают естественную и искусственную радиоактивность. Процессы, происходящие при естественной радиоактивности, позволяют судить о структуре и свойствах радиоактивных веществ. В настоящее время все большее значение получают процессы, связанные с искусственной радиоактивностью. Практически все вещества имеют радиоактивные изотопы, поэтому, не изменяя химического строения вещества, можно его пометить, сделав часть ядер радиоактивными. Это позволяет с большой точностью следить за перемещением этого вещества или изучать его внутреннюю структуру.

**Авт. свид. № 234.740.** Способ определения концентрации пылевых частиц с осаждением этих частиц в осадительном устройстве, отличающийся тем, что, с целью расширения диапазона измерения, в исследуемый газ добавляют радиоактивный газ, например, радон, а после осаждения частиц определяют их радиоактивность, по величине которой судят о концентрации пылевых частиц в газе.

**Авт. свид. № 242.324.** Способ ускоренного определения годности защитно-моющих и лекарственных веществ наружного применения, при котором на кожу наносят слой исследуемого вещества, отличающийся тем, что, с целью определения времени проникновения вещества сквозь кожу и времени выполнения им барьерных функций, в исследуемое вещество предварительно вводят радиоизотопы, например йода, фосфора или серы, и проводят радиометрические измерения исследуемого объема.

## 26.2. РЕНТГЕНОВСКОЕ И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Рентгеновское излучение, открытое в 1895 году физиком Рентгеном, имеет ту же электромагнитную природу, что и гамма-излучение, испускаемое ядрами атомов радиоактивных элементов, поэтому эти оба вида излучения подчиняются одинаковым закономерностям при взаимодействии с веществом. Принципиальная разница между этими двумя видами излучения заключается в механизме их возникновения. Рентгеновское излучение — внедренного происхождения, гамма-излучение — продукт распада ядер.

### 26.2.1. Адгезолюминесценция

Рентгеновское излучение возникает либо при торможении заряженных частиц (электронов) высокой энергии в веществе (сплошной спектр), либо при высокоэнергетических переходах внутри атомов (линейчатый спектр).

Недавно установлено, что рентгеновское излучение может также возникать в результате явления адгезолюминесценции, которое наблюдается при очень быстром отрыве от гладкой поверхности липкой ленты. Такой быстрый отрыв может происходить, например, при быстром качении по металлической поверхности цилиндра, покрытого липкой лентой. В этом случае пленка и металлическая поверхность образуют как бы обкладки микроскопического конденсатора, напряженность поля в котором может достигать сотен тысяч электронвольт. Электроны, разогнанные в микроконденсаторе, тормозятся затем в веществе, испуская при этом рентгеновское излучение.

### 26.2.2. Астеризм

Рентгеновские лучи применяют для просвечивания различных веществ с целью выявления скрытых дефектов. При деформации неподвижного монокристалла на рентгенограммах наблюдается размытие в определенных направлениях интерференционных пятен (явление астеризма). Появление астеризма объясняется тем, что монокристалл в процессе деформации разбивается на отдельные участки (фрагменты) размером  $1...0,1$  мкм. С увеличением деформации монокристалла интерференционные пятна удлиняются. По направлению и степени растяжения пятна можно судить о количестве, размере и форме

фрагмента и исследовать характер протекания деформации.

Из других областей применения рентгеновских лучей можно назвать:

рентгеновскую дефектоскопию, занимающуюся просвечиванием твердых тел с целью установления размера и местонахождения дефектов внутри материала;

рентгеновскую спектроскопию и рентгено-спектральный анализ. Основная цель — исследование электронного строения веществ по их рентгеновским спектрам. Области применения — исследования химического строения вещества, технологические процессы горнорудной и металлургической промышленности;

рентгеновскую микроскопию, широко применяющуюся для исследования объектов, непрозрачных для видимого света и электронов (биология, медицина, минералогия, химия, металлургия).

**Авт. свид. № 427.698.** Способ измерения моментов инерции неоднородных, несвободных тел, заключающийся в поступательном перемещении исследуемого тела относительно пространственной оси, отличающийся тем, что, с целью устранения влияния напряжения мускулатуры исследуемого, передвигают источник гамма-излучения с детектором, регистрирующим интенсивность прошедшего через равные участки тела гамма-излучения.

## **26.3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЙ С ВЕЩЕСТВОМ**

Взаимодействие рентгеновского и гамма-излучения с веществом происходит посредством трех основных процессов: фотоэлектрического поглощения (фотоэффекта), рассеяния и эффекта образования пар.

### **26.3.1. Фотоэффект**

При фотоэффекте рентгеновский или гамма-квант передает всю энергию электрону атома. При этом если электрон получает энергию, большую чем энергия связи его в атоме, то он вылетает из атома. Этот электрон называется фотоэлектроном. При потере атомами фотоэлектронов освободившиеся места в электронных оболочках в дальнейшем заполняются электронами с внешней оболочки. Переход электрона на более близкую к ядру оболочку

сопровождается испусканием кванта излучения, которое можно зарегистрировать, например, фотоэмульсией.

**Патент США № 3.580.745.** Способ и устройство для маркировки банок в контейнере путем облучения чувствительной эмульсией. Перед упаковкой в транспортировочный картонный контейнер торец каждой банки покрывают чувствительной к облучению эмульсией. Банки, упакованные в контейнер, облучают рентгеновскими или гамма-лучами. При этом покрытые эмульсией торцы банок облучаются через экран с прорезями, имеющими форму маркировочных обозначений (например, цены). Таким образом, маркировка упакованных в картонный контейнер банок осуществляется без вскрытия этого контейнера и последующей индивидуальной маркировки каждой банки.

При малых энергиях квантов фотоэлектроны выделяются преимущественно в направлениях, перпендикулярных к направлению распространения излучения. Чем выше энергия квантов, тем ближе к их первоначальному направлению движение выбрасываемых фотоэлектронов. Процесс образования электронов приводит к ионизации облучаемого вещества, что находит большое применение для интенсификации различных технологических процессов.

**Авт. свид. № 241.010.** Способ получения политоккарбонилфторида полимеризацией тиокарбонилфторида, отличающийся тем, что, с целью упрощения процесса и получения более чистого полимера, полимеризацию осуществляют под действием гамма-излучения.

### **26.3.2. Рассеяние рентгеновского и гамма-излучений**

Различают два основных процесса рассеяния: комптоновское или некогерентное (комpton-эффект) и когерентное рассеяние.

При комpton-эффекте происходит упругое соударение первичного кванта со свободным электроном вещества. Комptonовское рассеяние представляет собой взаимодействие кванта с электроном, при котором электрон, получивший некоторое количество энергии, начинает двигаться под углом к направлению движения рентгеновского или гамма-кванта. В результате комpton-эффекта появляется рассеянный квант с большой длиной волны, изменивший первоначальное направление и электрон отдачи (комptonовский электрон), получивший часть энергии

кванта. Комптоновские электроны характеризуются непрерывным спектром от ничтожно малых значений до максимальной величины (если они выбрасываются в направлении движения квантов).

В случае, если энергия кванта сравнима с энергией связи электрона в атоме, происходит когерентное рассеяние кванта. При этом, когда электромагнитная волна встречается с электроном, последний начинает колебаться с частотой этой волны и излучает энергию в виде рассеянной волны. Энергия кванта при этом не изменяется. Движение электронов в атоме взаимосвязано. Поэтому излучение, рассеянное одним электроном, будет интерферировать с излучением, рассеянным другими электронами этого же атома.

Рассеянные гамма-кванты несут информацию о структуре облучаемого вещества, поэтому рассеянное излучение можно использовать для различных измерительных целей.

### 26.3.3. Эффект образования пар

При взаимодействии с атомными ядрами кванты рентгеновского и гамма-излучений достаточно высокой энергии вызывают одновременное появление электронов и позитронов. Процесс образования электронно-позитронных пар происходит в поле атомного ядра или в поле электронов. Позитрон существует лишь очень короткий промежуток времени; вслед за образованием пары наблюдается явление аннигиляции — исчезновение позитрона и какого-либо электрона среды, сопровождаемое излучением двух квантов с энергией 0,51 МэВ.

## 26.4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ

Различают следующие виды взаимодействия: упругое и неупругое рассеяние электронов на атомных ядрах и электронных оболочках и торможение электронов в кулоновском поле атомных ядер.

### 26.4.1. Упругое рассеяние

Упругое рассеяние имеет место при таких столкновениях, при которых происходит лишь изменение направления движения сталкивающихся частиц, тогда как их общая энергия остается неизменной. Основную роль в рассеянии электронов играет упругое рассеяние на атомных ядрах, хотя электроны рассеиваются и на электронах

атомных оболочек. Вследствие малой массы электронов они отклоняются на углы от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ , причем на малые углы электроны отклоняются с большей вероятностью. При отклонении на большие углы электроны несут информацию о строении вещества рассеивателя, что может быть использовано в различных измерительных приборах.

**Патент США № 3.560.742.** Портативное устройство для измерения обратно рассеянного бета-излучения предназначено для эффективных измерений толщины покрытия обрабатываемых деталей. Устройство содержит зажим для монтажа постоянного зондирующего элемента. Этот зажим является составной частью устройств, регулирующих положение зондирующего элемента относительно обрабатываемой детали с тем, чтобы они контактировали друг с другом. В другом варианте выполнения изобретения, устройство содержит укосину, которая фиксирована относительно обрабатываемой детали. Зажим у укосины предназначен для удержания зондирующего элемента в плотном контакте с поверхностью обрабатываемой детали, то есть в положении измерения толщины покрытия, нанесенного на поверхность обрабатываемой детали.

#### 26.4.2. Неупругое рассеяние

Неупругое рассеяние электронов происходит в основном в результате их столкновения с орбитальными электронами. При столкновении электронов с электронами атомных оболочек часть энергии электронов передается связанному электрону атома. В зависимости от количества переданной энергии происходит возбуждение или ионизация атомов вещества. В том и другом случае воздействующий электрон теряет свою энергию. Процесс ионизации сопровождается возникновением вторичных электронов. Большая часть вторичных электронов обладает незначительной кинетической энергией. Процесс возбуждения сопровождается испусканием характеристического излучения.

Процесс неупругого рассеяния, поскольку он сопровождается ионизацией, может использоваться для интенсификации различных технологических процессов.

**Патент США № 3.820.015.** Устройство для измерения концентрации кислорода в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания содержит источник бета-электронов, обладающих низким уровнем энергии для ионизации молекул кислорода. Указанный источник расположен во

вторичном контуре выхлопной трубы. В этот контур выхлопной газ подается с определенной скоростью при помощи насоса постоянной производительности. На выходе источника бета-электронов в ниспадающей части потока газов установлена коллекторная пластинка. При этом между источником бета-электронов и коллекторной пластинкой поддерживается определенная разность потенциалов, под воздействием которой ионизированные молекулы кислорода отделяются от молекул других газов и ударяются о коллекторную пластину. Концентрация кислорода в выхлопных газах определяется путем измерения заряда, накапливающегося на коллекторной пластине.

#### **26.4.3. Тормозное излучение**

Помимо потерь на ионизацию и возбуждение атомов вещества электроны могут терять свою энергию на образование тормозного излучения. Проходя вблизи атомного ядра, под действием его электрического поля электроны испытывают торможение. Поэтому в соответствии с законом сохранения энергии они будут испускать электромагнитное (тормозное) излучение. В тормозное излучение может преобразоваться любая часть кинетической энергии электрона вплоть до ее максимального значения. Поэтому энергетический спектр тормозного излучения непрерывный. Примером тормозного излучения является рентгеновское излучение, возникающее при торможении электронов на аноде рентгеновской трубки. Это используется в рентгеновских аппаратах.

#### **26.4.4. Совместное действие облучения электронами и светом**

Особенность эффекта состоит в том, что вещество не поглощает свет до облучения электронами, но в процессе облучения или после него свет поглощается короткоживущими частицами и радикалами, возбужденными молекулами, возбуждение или диссоциация которых приводит к химическим превращениям.

### **26.5. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЙТРОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ**

Нейтрон представляет собой электрически нейтральную частицу с массой покоя, равной приблизительно массе покоя протона, вместе с которым они образуют ядра



всех элементов. Поскольку нейтрон электрически нейтрален, он может вызывать различные ядерные реакции, в частности цепные реакции деления тяжелых ядер (тория, урана, плутония), осуществляемые в ядерных реакторах.

По кинетической энергии нейтроны делят на быстрые, промежуточные и тепловые. В зависимости от этой энергии нейтроны по-разному взаимодействуют с веществом. Тепловые нейтроны взаимодействуют практически со всеми ядрами элементов, а в тяжелых вызывают реакцию деления. Промежуточные также поглощаются ядрами, но при некоторых значениях энергии нейтроны хуже поглощаются ядрами, а гораздо лучше неупруго рассеиваются (замедляются), теряя при этом кинетическую энергию. Особенно интенсивно быстрые нейтроны рассеиваются на водосодержащих веществах (замедлителях, что используется для замедления быстрых нейтронов до тепловых энергий в тепловых реакторах).

**Патент США № 3.794.843.** Контрольно-измерительный прибор для определения весового содержания влаги в сыпном материале, содержит источник излучения, облучающий влажный сыпной материал быстрыми нейтронами и гамма-лучами, прошедшее излучение регистрируют двумя детекторами, причем первый регистрирует гамма-излучение, а второй — тепловые нейтроны, возникающие при замедлении быстрых нейтронов на ядрах водорода, содержащихся во влаге сыпного материала, оба сигнала от детекторов поступают на электрическую схему, с целью получения сигнала, скоррелированного с весовым процентным содержанием влаги в материале.

### **26.5.1. Нейтронное распухание**

При очень интенсивном облучении быстрыми нейтронами различных веществ наблюдается так называемое явление нейтронного распухания — увеличение объема вещества, что может быть использовано, например, для правки массивных металлических деталей (авт. свид. № 395.147) или в устройствах для измерения деформации ядерного горючего (заявка Великобритании № 1.359.759).

## **26.6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АЛЬФА-ЧАСТИЦ С ВЕЩЕСТВОМ**

Альфа-частицы (ядра гелия) состоят из двух протонов и двух нейтронов. Поскольку альфа-частицы заряжены, то их очень просто ускорять и облучать этим потоком

различные вещества, которые при этом сильно ионизируются. Ионизированные атомы через какой-то промежуток времени захватывают свободные электроны и превращаются в нейтральные, излучая при этом характеристическое излучение, по которому можно судить о составе исследуемого вещества.

**Авт. свид. № 223.948.** Способ отдельного определения алюминия и кремния по облучению пробы потоком альфа-частиц и одновременной регистрации возбужденного в ней суммарного характеристического излучения алюминия и кремния, отличающийся тем, что, с целью увеличения чувствительности облучения и разрешающей способности, сразу после прекращения облучения пробы измеряют наведенную активность пробы и по соотношению измеренных величин суммарного характеристического излучения алюминия и кремния и наведенной активности судят о концентрации алюминия и кремния в пробе.

#### **26.6.1. Эффект увеличения коррозионной стойкости металлов**

Если металлическую пластину облучать в течение нескольких минут альфа-частицами, то в силу короткого пробега частиц в веществе, основная масса частиц останется в тонком поверхностном слое, отдав при этом ему всю кинетическую энергию. Экспериментально установлено, что если после такого облучения пластину выдержать в атмосфере паров концентрированной соляной и серной кислот, то поверхность металла сохраняет первоначальную структуру и блеск. Этот эффект можно объяснить, так же как и в случае сверхнизкого трения, перестройкой структуры поверхностного слоя и удалением паров воды.

Эффект увеличения коррозионной стойкости металлов особенно важен в атомной промышленности.

Был обнаружен в 1992 году принципиально новый механизм коррозии циркониевых сплавов в водных средах в условиях ионизирующего излучения (открытие № 67, В. Г. Крицкий, Л. В. Шмаков, Ю. В. Гарусов, И. С. Березина, П. С. Стяжкин). Ускорение коррозии происходит за счет образования на границе металл-среда неустойчивого соединения типа  $Zr_2O_3$  и  $H_2O$  в результате взаимодействия продуктов радиолиза ( $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $O$ ) с защитной пленкой, состоящей преимущественно из нестехиометрического окисла  $Zr_{2-x}O_{2-x}$ . Интенсивность этого процесса

определяется концентрацией  $H_2O_2$  и практически не зависит от температуры среды.

Установленная закономерность ускорения коррозии циркония в активной зоне АЭС служит основой нового подхода к проблеме надежности ТВЭЛ при эксплуатации в реакторах и бассейнах хранения, к проблеме предупреждения выхода в окружающую среду продуктов деления ядерного топлива.

Полученные результаты имеют прикладное значение, так как суть проблемы защиты от коррозии циркония и разгерметизации твэл заключается в подборе соответствующих ингибиторов или акцепторов радикалов. Ингибиторы снижают стационарную концентрацию перекиси водорода и уменьшают воздействие среды на оболочку ТВЭЛ, акцепторы предотвращают образование агрессивного агента.

## 26.7. РАДИОТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

Если какое-либо твердое вещество при низкой температуре подвергнуть воздействию электронов, рентгеновских или гамма-лучей, то при нагреве, даже самом незначительном, вещество начинает светиться. Причем, при плавном нагревании твердых органических веществ температура, при которой наблюдается наибольшая термолюминесценция, совпадает с температурой структурных переходов (плавления, размягчения и т. д.). Это явление (открытие № 168) позволило создать новый эффективный метод исследования веществ.

Авт. свид. № 381.983, G 01 N 23/00. Способ исследования структурных переходов в органических веществах, основанный на регистрации радиотермолюминесценции образца, отличающийся тем, что, с целью упрощения процесса, облучают поверхностный слой образца пучком электронов с энергией 5...30 кЭв.

В общих чертах метод радиотермолюминесценции, или сокращенно РТЛ, заключается в следующем. Образец исследуемого органического вещества облучают при низкой температуре (77...100°K) в полной темноте. Пригодны любые источники ионизирующего излучения: нейтронные, гамма-, бета-источники, ускорители заряженных частиц, рентгеновские установки. Мощность дозы не играет существенной роли. Важно только, чтобы полная, так называемая экспозиционная доза достигала 0,1...2 Мрад. Такие дозы, как правило, не изменяют тем-

пературы структурного перехода. Затем образец плавно нагревают на (10...20°C) в минуту. Свечение образца регистрируют с одновременной регистрацией температуры. Получают зависимость интенсивности РТЛ от температуры — кривую высвечивания. Пики, излом кривой, прежде всего, позволяют оценить температуру структурных переходов. Абсолютная точность определения достигается около 1°.

## 26.8. ЭФФЕКТ МЕССБАУЭРА

Суть эффекта состоит в упругом испускании или поглощении гамма-квантов атомными ядрами, связанными в твердом теле. Причина «упругости» процесса (при упругом процессе внутренняя энергия тела не изменяется, т. е. атом остается в том же состоянии) в том, что если атом-поглотитель (или излучатель) входит в состав кристаллической решетки, то перестает выполняться однозначное соответствие между импульсом гамма-кванта и энергией отдачи атома. При мессбауэровском процессе отдача атома вообще не имеет места (не происходит возбуждение фотона), а импульс гамма-кванта воспринимается всей решеткой, т. е. всем кристаллом. Благодаря этому ширина мессбауэровских линий поглощения и испускания очень мала (весьма острая резонансная кривая); соответственно сдвиг линий очень чувствителен к параметрам как самого излучения, так и твердого тела.

В настоящее время на основе этого эффекта проведена масса очень тонких физических экспериментов, весьма важных, в частности, для физики и химии твердого тела. Малая ширина линий поглощения и, следовательно, почти фантастическая точность измерений с помощью эффекта Мессбауэра позволила разработать ряд методов для технического экспресс-анализа веществ, содержащих мессбауэровские ядра.

Авт. свид. № 297.912, G 01 N 23/20. Способ фазового анализа руд, содержащих мессбауэровские элементы, спектры которых частично перекрываются, основанный на резонансном гамма-поглощении, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности измерений при анализе, последовательно определяют величину эффекта Мессбауэра на исследуемой дуге с разными источниками, число которых равно числу соединений в руде и мессбауэровские спектры которых совпадают со спектрами соединений в руде, сопоставляют с результатами калибровки

и по совокупности величин эффекта Мессбауэра определяют содержание исследуемых соединений в руде.

Применение эффекта Мессбауэра для контроля железной руды при ее магнитном обогащении и использовании в качестве источника гамма-излучения кобальта-57 позволяет быстро и надежно определять содержание железа в рудном порошке, что способствует повышению качества железного концентрата.

### 26.8.1. Электронный парамагнитный резонанс

Открытие № 85: «Установлено неизвестное ранее явление квантовых переходов между электронными энергетическими уровнями парамагнитных тел под влиянием переменного магнитного поля резонансной частоты (явление электронного парамагнитного резонанса — ЭПР)».

Суть явления: в постоянном магнитном поле электронные уровни энергии парамагнитных атомов расщепляются на несколько подуровней; энергетическая разность подуровней определяется величиной поля и свойствами вещества; соответствующие квантовые переходы между этими подуровнями инициируются переменным (высоко-частотным) магнитным полем.

Открытие ЭПР послужило толчком для развития резонансных методов изучения вещества, в частности акустического парамагнитного резонанса, ферро- и антиферромагнитного резонанса, магнитного резонанса.

При явлении акустического парамагнитного резонанса переходы между подуровнями инициируются наложением высокочастотных звуковых колебаний; в результате возникает резонансное поглощение звука.

При ферромагнитном резонансе происходит избирательное поглощение энергии электромагнитного поля: эта энергия расходуется на возбуждение коллективных колебаний в магнитоупорядоченной структуре ферромагнетика (или антимангнетика).

Применение метода ЭПР дало ценные данные о строении стекол, кристаллов, растворов; в химии этот метод позволил установить строение большого числа соединений, изучить цепные реакции и выяснить роль свободных радикалов (молекул, обладающих свободной валентностью) в протекании химических реакций. Тщательное изучение радикалов привело к решению ряда вопросов молекулярной и клеточной биологии. Метод ЭПР — очень

мощный, он практически незаменим при изучении радиационных изменений в структуре, в том числе и в биологической. Чувствительность метода очень высока и составляет  $10^{10} \dots 10^{11}$  парамагнитных молекул. На применении ЭПР основан поиск и проверка новых веществ для квантовых генераторов; явление ЭПР используется для генерации сверхмощных субмиллиметровых волн.

Авт. свид. № 510.203, А 01 Н 1/4. Способ определения поля у огурцов путем исследования семян, отличающийся тем, что, с целью повышения производительности труда в селекционном процессе, измеряют нативный сигнал электронного парамагнитного резонанса и определяют характер люминесценции семян и по величине сигнала и интенсивности свечения судят о степени выраженности и принадлежности к полу: при величине нативного сигнала электронного парамагнитного резонанса  $0,66 \dots 0,68$  относительных единиц и слабом свечении растения будут преимущественно мужского типа, а при сигнале  $0,48 \dots 0,56$  относительных единиц и интенсивном свечении — женского типа.

## 26.9. ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС (ЯМР)

Парамагнетизм вещества может быть обусловлен не только строением электронных оболочек атомов, но и магнетизмом ядер. Магнетизм ядер, так же как и магнетизм оболочек, может вызвать резонансное поглощение энергии в твердом, жидком или газообразном состоянии. Резонансные частоты метода ЯМР лежат в области  $1 \dots 100$  МГц, чувствительность метода составляет  $10^{17} \dots 10^{21}$  ядер. На применении ЯМР основан принцип работы приборов для стабилизации и точнейших измерений магнитных полей, а также для анализа смесей по их изотопному составу. Сильный сигнал ЯМР наблюдается в присутствии ядер изотопа углерода-13, что предопределило применение ЯМР и его разновидностей — ядерного квадрупольного резонанса — в химии углеводородов, особенно природных (нефть).

Авт. свид. № 178.511, G 01 F 23/00. Способ изменения расхода жидкостей, основанный на явлении ядерного магнитного резонанса, отличающийся тем, что, с целью измерения расхода жидкостей, обладающих сильным сигналом магнитного резонанса, используют свободную прецессию ядер в магнитном поле Земли.

## 26.10. ЭФФЕКТ ОВЕРХАУЗЕРА—АБРАГАМА

В том случае, если в атоме имеет место и ядерный, и электронный парамагнетизм, то их взаимодействие приводит к изменению интенсивности сигнала ЯМР. При возрастании насыщения электронного парамагнитного резонанса и образца с парамагнитными ядрами наблюдается значительное увеличение интенсивности ЯМР (Оверхаузер, 1953 г.). Этот эффект был использован для разработки метода динамической поляризации ядер; вещество с поляризованными ядрами очень чувствительно как к величине магнитного поля, так и его изменению. Это свойство и лежит в основе практических применений эффекта.

Патент США № 3.559.045. Магнитный градиометр, служащий для измерения разницы между магнитными полями в двух зонах, содержит два ядерных фильтра — по одному в каждой зоне. Каждый из ядерных фильтров является фильтром такого типа, в котором используется эффект Оверхаузера—Абрагама и выдает выходной сигнал, который усиливается и подводится к одному из выходов операционного усилителя. Выходной сигнал усилителя расщепляется и подводится к входной катушке двух фильтров. Фазометр измеряет разность фаз входных сигналов операционного усилителя, который может быть суммирующего или дифференциального типа, что определяется типом ядерного фильтра (с перекрещивающимися или параллельными катушками). Разность фаз находится в прямой зависимости от разницы между полями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хирный А. и др. Эффект увеличения коррозионной стойкости металлов, облученных ионами гелия. Доклады АН СССР, 1974. Т. 214, № 1.
2. Мельников Л. Свет из ловушек//Химия и жизнь, 1976, № 1.
3. Гольданский В. И. Эффект Мессбауэра и его применение в химии. М.: изд. АН СССР, 1974.
4. Парамагнитное поглощение звука//УФН, 1961. Т. 75, № 3.
5. Пейк Дж. Парамагнитный резонанс. — М.: Мир, 1965.
6. Александров И. В. Теория ядерного магнитного резонанса. — М., 1964.
7. Абрагам А. Ядерный магнетизм. — М.: ИЛ, 1963.
8. Каррингтон А. и др. Магнитный резонанс и его применение в химии. — М.: Мир, 1970.
9. Авт. свид. №№ 181.752, 247.424, 297.912, 346.693 и др.
10. Патент РФ № 2.034.346. Способ длительного хранения отработанного ядерного топлива в бассейнах выдержки.
11. Патент РФ № 2.079.907. Способ хранения отработанного ядерного топлива с оболочками из циркониевых сплавов в приреакторных бассейнах.

## НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ ЭФФЕКТЫ И ЯВЛЕНИЯ

### 27.1. ТЕРМОФОРЕЗ

Если нагретое тело поместить в объем, заполненный аэрозолем (т. е. мелкими частицами, взвешенными в воздухе, например, дымом или туманом), то вокруг тела возникает так называемая темная зона (среда, свободная от аэрозоля), толщина которой зависит от разности температур тела и среды, давления и газа, размера и формы тела и не зависит от его химического состава. Горячее тело как бы отталкивает от себя частицы аэрозоля.

Это явление обусловлено термофоретическими силами, действующими со стороны газообразной среды на находящиеся в ней неравномерно нагретые тела (в частности, частицы аэрозоля). Термофоретические силы возникают вследствие того, что газовые молекулы у более нагретой стороны частицы сильнее бомбардируют ее, чем у менее нагретой стороны и потому сообщают частице импульс в направлении убывания температуры. Величина термофоретических сил пропорциональна квадрату радиуса частицы, скорость же движения частицы под действием этих сил — скорость термофореза — не зависит от ее размера вследствие соответствующего возрастания силы сопротивления среды.

Авт. свид. № 261.400, В 41 М 7/05. Способ зарядки частиц, заключающийся в том, что при помощи коронного разряда, содержащего заземленный металлический электрод и коронирующие проволочки, подключенные к одному из полюсов высоковольтного источника тока, получают поток ионов определенного знака, движущихся к металлическому электроду и сообщаящих заряд частицам аэрозоля, отличающийся тем, что, с целью улучшения условий эксплуатации коронного разрядника и повышения качества электрофотографических изображений, получаемых пылевым методом проявлений, заземленный металлический электрод и коронирующие



проволочки нагревают, например, электрическим током, до такой температуры, при которой ввиду появления термофоретических сил заряженные частицы аэрозоля не могут осаждаться в области плазмы коронного разряда.

## 27.2. ФОТОФОРЕЗ

Если аэрозоль осветить интенсивным направленным пучком света, то аэрозольные частицы начинают совершать упорядоченное движение, причем некоторые из них — в направлении распространения света (положительный фотофорез), а другие — навстречу ему (отрицательный фотофорез). Наиболее сильно фотофорез проявляется на окрашенных частицах. Тип фотофореза зависит от цвета и от ее размера.

В основе явления лежит совместное действие на частицу светового давления и термофоретических сил. Преобладание одного из этих факторов определяет тип фотофореза. Так, для мелких частиц основным фактором является световое давление, что и обуславливает в данном случае положительный фотофорез.

### 27.2.1. Перпендикулярный фотофорез

Интересное явление обнаружено в аэрозолях селеновой и железной пыли. В этих системах под влиянием светового потока аэрозольные частицы начинают двигаться в направлении, перпендикулярном направлению распространения света.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. — М.: изд. АН СССР, 1955.
2. Спурный К., Йех Ч. и др. Аэрозоли. Пер. с чешск. — М.: Атомиздат, 1964.

## 27.3. СТРОБОСКОПИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Если быстро вращающееся тело освещать импульсами света, частота следования которых совпадает с круговой частотой вращения, то наблюдатель будет видеть тело как бы неподвижным. Это позволяет рассматривать особенности его поверхности или какие-либо ее изменения, не останавливая вращения тела.

Авт. свид. № 515.936, G 01 B 11/06. Способ определения окружных люфтов трансмиссий с ведомым и ведущим валами, заключающийся в том, что на ведомом валу на-

носят базовую метку и вращают его с определенной и постоянной угловой скоростью, отличающийся тем, что, с целью повышения точности определения люфтов, освещают базовую метку стробоскопическими импульсами с частотой, при которой метка кажется неподвижной, изменяют синхронно скорость вращения ведущего вала и частоту импульсов и определяют угол отклонения метки от первоначального ее положения, по которому судят о люфтах трансмиссий.

Если частота световых импульсов и вращения тела несколько отличаются, то будет наблюдаться кажущееся вращение тела, скорость которого гораздо меньше действительной скорости вращения. Сказанное справедливо и для поступательного (колебательного) движения тела.

Стробоскопический эффект лежит в основе кино. Отдельные изображения последовательных стадий движения, быстро сменяя друг друга, создают иллюзию непрерывного движения. При этом важную роль играет особенность нашего восприятия — инерционность, глаз как бы «видит» изображение предыдущего кадра некоторое время после того, как погас экран.

Движение в кинофильме может быть ускоренным или замедленным в зависимости от соотношения частот съемки и воспроизведения, что используется для визуализации быстро или медленно протекающих процессов.

Несмотря на свою простоту, стробоскопический метод может являться основой многих тонких исследований.

Авт. свид. № 256.584, В 28 С 54/10. Фазовый способ измерения длины волны ультразвука, основанный на использовании стробоскопического эффекта при помощи бегущих ультразвуковых волн, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, модулируют одну из бегущих волн, освещенных пучком света, по фазе, наводят последовательно ось фотоэлектрического микроскопа на максимум освещенности видимого изображения и по расстоянию между соседними максимумами судят о длине ультразвуковой волны.

В заключение отметим, что стробоскопический эффект является ярким проявлением закона согласования ритмики частей системы.

## 27.4. МУАРОВЫЙ ЭФФЕКТ

При наложении двух систем контрастных полос возникает узор, образованный их сгущениями, где полосы одной системы попадают в промежутки между полосами

другой системы. Возникновение таких узоров называют муаровым эффектом.

Простейший муаровый узор возникает при пересечении под небольшим углом двух систем равноудаленных параллельных полос (линий).

Небольшое изменение угла поворота одной из систем ведет к значительным изменениям расстояния между элементами муарового узора.

#### **27.4.1. Контроль размеров**

Муаровый узор образуется также при наложении двух непересекающихся систем равноудаленных параллельных линий, когда величина одной из систем слегка отлична от другой. При этом чем меньше разница в шаге, тем больше расстояние между муаровыми полосами. Это позволяет получить колоссальное увеличение (в миллион раз) разницы в ширине промежутков между линиями. Иначе говоря, муаровый эффект дает возможность визуально, без применения оптических систем, обнаруживать ничтожные отклонения размеров в почти одинаковых периодических структурах. В настоящее время метод муара широко применяют при контроле точности делительных устройств, для изготовления дифракционных решеток.

#### **27.4.2. Выявление дефектов**

Муар возникает на электронной микрофотографии двух кристаллов, наложенных таким образом, что их атомные решетки почти совпадают. Любой дефект, нарушающий регулярность структуры кристалла, четко проявляется на муаровом узоре. Увеличение при этом таково, что позволяет видеть смещение атомов, величина которых меньше диаметра самого атома.

#### **27.4.3. Конусные шкалы**

Если две решетки из равноудаленных параллельных прямых, несколько отличных по величине шага, двигать одну относительно другой в направлении, перпендикулярном линиям, то полосы муарового узора будут двигаться со скоростью, гораздо большей, чем относительная скорость движения самих решеток. При этом направление их движения совпадает с направлением относительного смещения решетки с меньшим шагом. Таким образом, малое перемещение одной из решеток приводит к

значительному перемещению полос муара, которое легко обнаружить и измерить.

Авт. свид. № 297.871, G 01 E 23/00. Способ определения деформаций по картине муаровых полос, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения деформаций, определяют отношение скоростей взаимного перемещения деформированной и эталонной сеток к скорости перемещения муаровой полосы и по величине этого отношения судят о величине деформаций.

Основное проявление муарового эффекта издавна используется во всех измерительных приборах, обладающих нониусом, таких как микрометр или штангенциркуль.

#### **27.4.4. Измерение параметров оптических сред**

С помощью эффекта муара можно визуализировать ничтожные изменения показателя преломления прозрачных сред, помещая их между решетками. Так, например, можно визуально изучить динамику растворения двух веществ.

#### **27.4.5. Контроль оптических деталей**

Этот же принцип позволяет производить экспресс-анализ качества оптических деталей. Линзы помещают между решетками. Наличие выпуклой линзы увеличивает элементы муарового узора, вогнутой — уменьшает. При этом обе линзы поворачивают узор в противоположных направлениях на угол, пропорциональный фокусному расстоянию. В местах неоднородностей структуры или формы линз узоры искажаются.

Еще пример контроля оптики.

Авт. свид. № 515.937, G 01 B 11/26. Интерференционный способ измерения клиновидности оптических прозрачных пластин, заключающийся в том, что пучок света от лазера фокусируют с помощью объектива в плоскости отверстия в экране, за которым устанавливают контролируемую пластину, отличающуюся тем, что, с целью повышения точности и производительности измерений, от контролируемой пластины при ее фиксированном положении получают прозрачную копию интерференционных колец, поворачивают пластину в ее плоскости на  $180^\circ$ , накладывают интерференционную картину на копию и по ширине муаровых полос, образовавшихся от наложения, измеряют клиновидность пластины.

Множество муаровых узоров можно получить, совмещая решетки, образованные самыми различными линиями,

например, концентрическими окружностями, спиралевидными, волнообразными или радиально исходящими из точки линиями и даже семействами равномерно расположенных точек. Таким образом, можно моделировать многие сложные физические явления, такие как взаимодействие электростатических полей, интерференцию волн и другие. Подобными методами решаются некоторые задачи архитектурной акустики.

В Японии предложено использовать муаровый эффект для составления топографических карт предметов. Объект фотографируют через решетку из тонких нитей, сбрасывающую на него четкую тень. Тень деформируется в соответствии с рельефом объекта, и при взаимодействии ее с реальной решеткой возникает муаровый узор, наложенный на изображение объекта. На фотографии расстояние между линиями муара соответствует глубине рельефа. Такой метод очень эффективен, например, при изучении деформации быстро вращающихся деталей, при анализе обтекания тел поверхностным слоем жидкости, в медицинских исследованиях анатомического характера.

Универсальность метода муара, простота преобразования с его помощью различных величин, высокая разрешающая способность — все это говорит о том, что изобретатели еще не раз обратятся в своей практике к муаровому эффекту.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шнейдерович Р. М., Левин О. А. Измерение полей пластических деформаций методом муара. — М.: Машиностроение, 1972.
2. Теокарис П. Муаровые полосы при исследовании деформаций. — М.: Мир, 1972.
3. Наука и жизнь, 1963, № 10, 1971, № 3.
4. Авт. свид. №№ 197.081, 241.021. Патенты США № 3.572.942 и № 34.796.498. Великобритании, заявка № 1.353.470. ФРГ, заявка № 1.773.989.

### 27.5. ВЫСОКОДИСПЕРСИОННЫЕ СТРУКТУРЫ

Одной из тенденций развития технических систем является увеличение степени дисперсионности входящих в них веществ. При этом наблюдаются качественные изменения свойств дисперсионной структуры по сравнению со свойствами монолитного нераздробленного вещества.

Высокодисперсионные структуры подразделяются на сыпучие, консолидированные и коллоидные. Из сыпучих

порошков особый интерес представляют ферромагнитные порошки, так как ими легко управлять магнитным полем, их можно вводить в виде индикаторных добавок в немагнитные вещества с целью выяснения условий, действующих внутри исследуемого вещества (температуры, давления и т. п.).

**Авт. свид. № 239.643, G 01 N 31/52.** Способ определения степени затвердевания полимерного состава. В полимер в небольшом количестве вводится ферромагнитный порошок. Полимер, затвердевая, сдавливает частицы порошка, который при этом меняет свои магнитные свойства, что легко обнаружить.

### 27.5.1. Консолидированные тела

Это тела, полученные путем прессования или спекания мелкого порошка (размеры частиц от 10 до 100 мкм). Консолидированные тела обнаруживают много интересных свойств, отличающих их от сплошного тела, состоящего из того же вещества. Например, при консолидировании порошка путем прессования можно получить анизотропные тела, несмотря на то, что вещество, составляющее частицы порошка, изотропно. Параметры такого консолидированного тела (электропроводность, теплопроводность, распространение звука, модуль упругости и т. п.) в направлении прессования выше, чем в поперечном направлении, но ниже, чем в сплошном теле из того же вещества, причем все свойства изменяются практически на один и тот же масштабный коэффициент пропорциональности. Зная, в каком масштабе искажена одна из условных характеристик пористого образца (например, электропроводность), можно легко определить масштабы искажения и другие характеристики этого образца (теплопроводности, скорости звука, модуля сжатия, коэффициента Пуассона и т. д.), а значит, легко можно определить и сами характеристики данного образца. Контролируя какую-нибудь из легкоизмеряемых характеристик пористого тела в процессе его консолидации, можно однозначно определить изменения интересующих нас других его характеристик.

## 27.6. ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Электрореологическим эффектом называется быстрое обратимое повышение эффективной вязкости неводных дисперсных систем в сильных электрических полях.

Электрореологические суспензии состоят из неполярной дисперсной среды и твердой дисперсной фазы с достаточно высокой диэлектрической проницаемостью. Дисперсионными средами могут служить неполярные или слабополярные органические жидкости с достаточно высоким электрическим сопротивлением (порядка 10 Ом/см). Например, светлые масла (вазелиновое, трансформаторное, растительные масла, касторовое), диэфиры (дибутилсебацат), нафтановые углеводороды (циклогексан), керосин, загущенный малыми добавками полиизобутилена. В качестве дисперсной фазы широко применяется кремнезем в различных модификациях. Размеры частиц не более 1 мкм.

Электрореологический эффект не проявляется заметно вплоть до некоторой пороговой напряженности электрического поля. Величина ее зависит от состава суспензии и температуры. После достижения значения  $E_{кр}$  эффективная вязкость растет приблизительно квадратично, но не до бесконечности, а до ее насыщения.

Эффект наблюдается и в постоянных, и в переменных полях. При увеличении частоты поля кажущаяся вязкость в начале остается неизменной, затем падает. Вид зависимости эффекта от частоты зависит от состава дисперсионной системы.

Электрореологические суспензии весьма чувствительны к изменениям температуры. Нагрев снижает абсолютную величину эффективной вязкости системы. С ростом температуры влияние электрического поля постепенно нивелируется.

## 27.7. РЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Под действием сдвига в так называемых электрочувствительных дисперсных системах происходят изменения диэлектрической проницаемости, электропроводности и тангенса угла диэлектрических потерь. Такие изменения диэлектрических параметров предложено называть реоэлектрическим эффектом. Важное значение реоэлектрического эффекта для практики связано с возможностью получения на его основе электрически анизотропных материалов, в частности электродов. Если части дисперсионной фазы несут заряд преимущественно одного знака, в концентрированных системах при наложении электрического поля наблюдается электросинерезис — сжатие

структурного каркаса в целом у одного электрода и выделение дисперсной среды у другого.

В суспензиях, если частички несут положительный или отрицательный заряд, под влиянием электрического поля протекает электрофорез и соответственно на катоде или аноде осаждается слой дисперсной фазы. Это свойство используется для создания информационных экранов и экранов отображения — плоских устройств для показа картины с помощью дисперсных систем, прозрачность которых изменяется под влиянием электрического поля.

Области возможного практического применения электрореологического эффекта чрезвычайно разнообразны и широки:

1. Регулирование движения жидкости, прокачиваемой через узкий канал.

2. Конструкция муфт сцепления, тормозов и других фрикционных устройств.

3. Зажимные и фиксирующие устройства, если пленку электровязкой жидкости нанести на тонкую пластину диэлектрика, с другой стороны которого располагаются электроды, соединенные с источником одно- или трехзначного тока, то электропроводный эффект, установленный на пластине, будет жестко зафиксирован «затвердевшей» пленкой при наложении достаточно интенсивного электрического поля.

4. Жидкие электрогенераторы, преобразователи тока.

5. Электрокинетические весы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коножалов Г. Ф., Коноваленко О. В. Система автоматического управления с электромагнитными порошковыми муфтами. — М.: Машиностроение, 1976.

2. Болших М. Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. М.: Металлургия, 1972.

3. Электрореологический эффект. — Минск, Наука и техника, 1972.

### 27.8. ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ

Представим себе жидкость, молекулы которой имеют удлиненную полочкообразную форму. Силы взаимодействия «выстраивают» их параллельно друг другу и ведут они себя как обычные молекулы жидкости, но с учетом единственного ограничения — при всех перемещениях должно сохраняться в целом некоторое выделенное направление длинных осей. У такой жидкости будут различные оптические и др. характеристики (например,



теплопроводность) в различных направлениях, т. е. они будут анизотропными. А ведь анизотропия всегда считалась отличительной чертой кристаллического состояния!

Жидкость описанного выше типа принадлежит обширному классу веществ, называемых нематическими жидкими кристаллами. Слово «немос» по гречески означает «нить», и действительно, молекулы таких жидких кристаллов напоминают бусинки, укрепленные на нити.

Возможны и другие типы молекулярной архитектуры, создающие анизотропию. Укладка молекул слоями и пачками приводит к еще одному классу жидких кристаллов — смектическим.

Такая упаковка молекул создает анизотропию не только оптических, но и механических свойств, поскольку слои легко смещаются друг относительно друга. Название этой группы связано с греческим словом «смектос» (мыло). Такое расположение молекул характерно для мыльных растворов, эмульсий и т. д.

Третьим распространенным типом жидких кристаллов является холестерические, в которых молекулы укладываются в плоскостях подобно описанным выше нематическим кристаллам, но сами плоскости повернуты друг относительно друга. Вектор, связанный с длинной осью, так называемой «директор», описывает в пространстве спираль. Названием этот класс жидких кристаллов обязан печально известному холестерину, у которого впервые были обнаружены подобные свойства.

### 27.8.1. Электрооптические эффекты

Прежде всего было найдено, что воздействие электрического поля на жидкие кристаллы приводит к электрооптическим эффектам, не имеющим аналогов среди прочих оптических сред. Электрооптическая ячейка состоит из двух стекол, между которыми находится тонкий слой жидкого кристалла. Окрашенные поверхности стекол обработаны таким образом, что они, оставаясь прозрачными, пропускают электрический ток. Таким образом получают как бы прозрачный конденсатор, диэлектриком внутри которого служит слой жидкого кристалла.

### 27.8.2. Динамическое рассеяние

Первым из открытых и, пожалуй наиболее впечатляющих эффектов, стало динамическое рассеяние. При определенном значении приложенного поля жидкость

между электродами как бы становится мутной. Свет, до сих пор беспрепятственно проходивший через жидкий кристалл, рассеивается, и участки с повышенной напряженностью поля становятся видны.

Этот простой эффект имеет большую практическую ценность. Электропроводящие участки поверхности стекла могут быть выполнены в виде букв или любых геометрических фигур. Подавая на них соответствующее напряжение, можно формировать различным образом прозрачные и непрозрачные участки, то есть с ничтожными затратами энергии создавать подвижные и неподвижные картины. Использование динамического рассеяния на слое жидкого кристалла толщиной в несколько мкм позволяет получить изображение, затрачивая мощность порядка микроватт. При этом из-за тонкости слоя жидкого кристалла необходимое напряжение на ячейке составит всего несколько вольт.

### 27.8.3. Управление окраской кристаллов

Удивительные превращения происходят с лучом света при взаимодействии с холестерическим жидким кристаллом, то есть периодической спиралью. Освещенный белым светом, он кажется окрашенным и при поворотах (при изменении угла наблюдения) начинает переливаться всеми цветами радуги. Этот эффект возникает потому, что в различных направлениях чешуйки кристалла, отражающие свет, расположены на различных расстояниях и отражают из белого цвета лишь волны с определенной длиной.

Такой простой и красивый эффект дает ошеломляющую возможность. Например, пусть какой-то участок поверхности нагрет до сотых долей градуса выше окружающих. Приложим к этой поверхности пленку с нанесенным слоем холестерического жидкого кристалла. В «горячей» точке шаг спирали чуть-чуть увеличится, и на пленке появится точка иного цвета. Покрыв готовое изделие (это может быть интегральная схема или деталь двигателя) слоем холестерического вещества, можно получить цветную картину тепловых направлений, на которой контрастными пятнами проступают любые дефекты и неоднородности, даже скрытые глубоко в структуре, благодаря неодинаковой их теплопроводности.

### 27.8.4. Визуализация ик-изображения

Цвет окраски жидкого кристалла однозначен с температурой нагретой поверхности. Этот эффект лежит в основе разработанного преобразователя инфракрасного изображения в видимое.

Основным элементом этого устройства является пленка холестерического жидкого кристалла, помещенная на тонкую черную мембрану. Мембрана поглощает сфокусированное на ней инфракрасное изображение и передает тепло свое жидкому кристаллу. Цвет жидкокристаллической пленки (в отраженном свете) зависит от температуры, поэтому при освещении пленки белым светом получается видимое изображение инфракрасного излучения. Напомним, что для преобразования инфракрасного изображения в видимое обычно используют преобразователи на основе фотоэмиссионных или фосфоресцирующих устройств с весьма сложной и дорогостоящей электроникой. Предельная простота и малая стоимость делает жидкокристаллические преобразователи несравненно более выгодными.

Из смесей холестерических веществ можно изготавливать температурные индикаторы в интервале температур от 20 до 250°C. Индикатор представляет собой тонкую гибкую пленку жидкого кристалла, заключенную между двумя полимерными пленками. Такую пленку можно накладывать на поверхность деталей для регистрации температурных градиентов в различных направлениях.

### 27.8.5. Химическая чувствительность

Жидкие кристаллы холестерического типа или их смеси весьма чувствительны к присутствию паров различных химических веществ. Присутствие крайне малого количества пара может изменить структуру жидкого кристалла и, следовательно, его оптические свойства, изменяя цвет кристалла. С помощью жидкого кристалла удастся установить присутствие в воздухе пара при его концентрации несколько частей на миллион. Этот способ имеет большую практическую ценность.

### 27.8.6. Жидкие кристаллы в роли датчиков

Жидкие кристаллы так же текучи, как и обычные вязкие жидкости и в то же время очень чувствительны к механическим воздействиям и к внешним полям. Это их свойство положено в основу работы следующего прибора.

**Авт. свид. № 1.719.944, G 01 L 11/00.** Измеритель разности давлений, содержащий две камеры с установленными в них разделительными мембранами, две трубки для отбора давления и оптронную пару, отличающийся тем, что, с целью расширения диапазона измерений и повышения точности, измеритель снабжен двухходовым коммутающим вентилем с приводом, соединенным трубками для отбора давления с камерами, полости камер, отделенные мембранами, связаны между собой плоским прямоугольным прозрачным капилляром и заполнены нематическим жидким кристаллом, а элементы оптронной пары расположены по обе плоские стороны капилляры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чистяков И. Г. Жидкие кристаллы. — М.: Наука, 1966.
2. Сонин А. Кентавры в «рабочей упряжке» // Наука и жизнь, 1978.

## 27.9. О СМАЧИВАНИИ

### 27.9.1. Эффект растекания жидкости под окисными пленками металлов

Обычно окисные пленки затрудняют смачивание твердых металлов из-за резкого различия химической природы окисла и металла. Тем не менее во многих системах, несмотря на наличие окисной пленки, жидкие металлы смачивают поверхность твердого металла. Смачивание происходит вследствие проникновения расплава под окисный слой с последующим растеканием в своеобразном капиллярном «зазоре» между окисной пленкой и твердым металлом.

Растекание может происходить не только под окисными пленками, но и под некоторыми твердыми покрытиями. Эффект зависит от напряжений, сжимающих тело или окисную пленку.

Используется при пайке, сварке и склеивании.

### 27.9.2. Эффект капиллярного «клея»

Сцепление частиц, пластин и т. д., разделенных тонкой прослойкой смачивающей жидкости. Капиллярное давление способствует повышению прочности тонкодисперсионных пористых структур.

### 27.9.3. Теплота смачивания

Выделяется при смачивании (в том числе и при избирательном смачивании). Является характеристикой иммерсионного смачивания (в том числе смачивание порошков).

Используется для получения информации о свойствах тела (подложки).

### 27.9.4. Магнитотепловой эффект смачивания

Изменение теплоты смачивания между твердым телом и жидкостью, прошедшей магнитную обработку. Например, теплота смачивания при контакте с углем воды, прошедшей через магнитное поле, возрастает на 30%. Изменения смачивания, вызванные действием магнитного поля, нестабильны; они исчезают через некоторое время (от нескольких часов до нескольких суток).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сумм Б. Д., Горюнов Ю. В. Физико-химические основы смачивания и растекания. — М.: Химия, 1976.
2. Дерягин Б. В. Свойства тонких жидких слоев и их роль в дисперсных системах. — М.: Изд-во Всесоюзного совета научно-инж. и техн. о-в, 1973.

## 27.10. ЛЕНТА МЕБИУСА

Если взять бумажную ленту, сложить ее противоположные концы так, чтобы получилось кольцо, а затем развернуть один из концов на 180° и склеить их друг с другом, то мы получим так называемое кольцо Мебиуса — тело, обладающее очень интересным свойством. Можно ли одновременно находиться и снаружи, и внутри кольца? Явное физическое противоречие. Однако, оно легко преодолевается, если это кольцо — кольцо Мебиуса. Это тело имеет лишь одну поверхность, и потому, например, муравей, ползущий по «внутренней» поверхности нашего бумажного кольца, не переползая через край плоскости, может оказаться на «наружной» поверхности кольца.

Кольцо Мебиуса не одиноко среди подобных тел, так, например, существует и «поверхностная» бутылка.

Авт. свид. № 444.682, В 29 D 7/12. Устройство для формирования деталей из полимерных материалов, например, мембран из поровинила, содержащее замкнутую ленту с формирующими элементами, натянутую на барабан, ведущий из которых снабжен нагревателем, и на-

правляющие ролики, отличающиеся тем, что, с целью повышения долговечности ленты, они выполнены в виде ленты Мебиуса с формирующими элементами на двух ее сторонах. См. также авт. свид. № 446.011.

## **27.11. ОБРАБОТКА МАГНИТНЫМИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ ОМАГНИЧИВАНИЕ ВОДЫ**

Это словосочетание прочно вошло в изобретательскую практику. И не важно, что до сих пор нет четкого объяснения изменениям свойств воды после наложения на нее магнитного поля. Важно, что применение этого эффекта позволяет интенсифицировать многие процессы.

**Авт. свид. № 511.644, Н 01 J 9/22.** Способ изготовления люминесцентного экрана путем осаждения люминофора из водной суспензии, содержащей силикат калия, отличающийся тем, что, с целью увеличения яркости свечения экрана, воду для приготовления суспензии предварительно пропускают через постоянное магнитное поле. Некоторые изобретатели предпочитают использовать вращающееся магнитное поле.

**Авт. свид. № 423.767, G 04 B 15/00.** Способ обработки воды строительной смеси, например, при производстве бетонных изделий, заключающийся в воздействии на нее магнитным полем, отличающийся тем, что, с целью повышения и стабилизации прочности изделий, на воду воздействуют вращающимся магнитным полем.

Начали обрабатывать магнитным полем и другие вещества.

**Авт. свид. № 427.953, C 08 F 1/00.** Способ обработки композиций на основе латекса, обработанного в переменном или постоянном магнитном поле, отличающийся тем, что, с целью улучшения физико-химических и технических свойств мастик и клеев на основе латекса, его пропускают через магнитное поле напряженностью от 400 до 2000 в перпендикулярно его силовым линиям со скоростью 0,1...5,0 м/с.

В некоторых случаях в изобретениях одинаково хорошо работает и магнитное, и электрическое поле.

**Авт. свид. № 484.245, C 10 M 9/00.** Способ обработки смазочно-охлаждающей жидкости, отличающийся тем, что, с целью повышения стойкости режущего инструмента и повышения смазочных свойств жидкости, последнюю подвергают воздействию электрического или магнитного поля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Класен В.* Перспективы применения магнитной обработки водных систем в химической промышленности//Химическая промышленность, 1974, № 1.
2. *Лыгаши Н. И.* К изменению свойств омагниченной воды//Изв. ВУЗов. Физика, 1974, № 2, С. 44-103.
3. Изобретатель и рационализатор, 1975, №№ 10, 26.
4. Авт. свид. №№ 422.562, 542.526, 518.553, 416.047, 346.553, 496.253, 496.146.

## 27.12. ЯВЛЕНИЕ САМОСИНХРОНИЗАЦИИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ТЕЛ (РОТОРОВ)

Явление самосинхронизации роторов состоит в том, что два или более кинематически и электрически не связанных между собой неуравновешенных ротора, установленные на общем подвижном основании и приводимые в движение от независимых асинхронных двигателей, вращаются с одинаковыми или кратными средними угловыми скоростями и с определенными фазами. При этом согласованность вращения роторов возникает, несмотря на имеющиеся некоторые различия в параметрах роторов и приводных двигателей. Тенденция к синхронному вращению оказывается во многих случаях столь сильной, что даже выключение одного из нескольких двигателей не приводит к выпадению их из синхронизма, роторы продолжают вращаться неограниченно долго. Энергия, необходимая для поддержания вращения выключенных двигателей, передается от работающих двигателей благодаря вибрации основания, на котором установлены роторы.

Явление самосинхронизации роторов было обнаружено в «Механобре» в 1948 году в результате случайного наблюдения (2). Учеными «Механобра» это явление было всесторонне изучено теоретически и экспериментально (3-6). Это открыло новые возможности в вибрационной технике, позволив, в частности, устранить из привода машин зубчатые или цепные передачи, соединительные валы и т. п., а также располагать вибровозбудители на значительных расстояниях один от другого.

Чтобы заставить два неуравновешенных ротора, установленных на общем основании и приводимых в движение независимыми электродвигателями, вращаться синхронно, традиционно использовали принудительную синхронизацию с помощью зубчатого зацепления (см. эскиз). Использование явления самосинхронизации позволяет обойтись без устройства кинематических связей между роторами.

В настоящее время известно более 300 изобретений и патентов на машины и устройства с самосинхронизирующимися вибровозбудителями. Большая часть этих изобретений и патентов принадлежит сотрудникам «Механобра» И. И. Блехману, О. П. Барзукову, Г. Б. Букаты, Л. А. Вайсбергу, П. С. Гольдману, С. Н. Горшкову, Г. А. Денисову, Л. П. Зарогатскому, Н. А. Иванову, Б. П. Лаврову, Р. Ф. Нагаеву, К. Д. Рудину, К. А. Рундквисту, В. Я. Туркину, А. В. Печеневу, К. Ш. Ходжаеву. Первое из авторских свидетельств было выдано И. И. Брехману в 1958 году.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Мариничев Б. М.* Становление и развитие теории вибрационных процессов и устройств в СССР//Исследования по истории физики и механики. М.: Наука, 1989.
2. Явление самосинхронизации вращающихся тел (роторов). Информация о зарегистрированном научном открытии/И. М. Абрамович, И. И. Брехман, Б. П. Лавнов, Д. А. Плисс//Открытия и изобретения. 1988, № 1.
3. *Блехман И. И.* Синхронизация в природе и технике. М.: Наука, 1981.
4. *Блехман И. И.* Что может вибрация? О вибрационной механике и вибрационной технике. М.: Наука, 1988.
5. *Вайсберг Л. А.* Проектирование и расчет вибрационных грохотов. М.: Недра, 1986.
6. Вибрация в технике: Справочник в 6 тт. М.: Машиностроение, 1978–1981.
7. *Блехман И. И.* Инерционный грохот. — Авт. свид. № 112448//Бюл. изобрет. — 1958, № 4.



## СПРАВОЧНИК ИЗОБРЕТАТЕЛЯ

Редактор *О. К. Чеботарева*  
Технический редактор *А. И. Колодяжная*

*Сводный темплан 1997 г.*

Генеральный директор *А. Л. Кноп*  
Директор издательства *О. В. Смирнова*  
Главный редактор *Ю. А. Сандулов*  
Художественный редактор *С. Л. Шапиро*  
Подготовка оригинал-макета *С. В. Павлова*  
Выпускающие *А. В. Яковлев, Н. К. Белякова*

ЛР № 065466 от 21.10.97  
Гигиенический сертификат  
78.01.07.952.Т.11668.01.99 от 19.01.99  
выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»

lan@lpbl.spb.ru  
www.lanpbl.spb.ru

193012, Санкт-Петербург, пр. Обуховской обороны, 277,  
издательство: тел. (812)262-2495, 262-1178;  
pbl@lpbl.spb.ru (издательский отдел)

склад № 1: факс: (812)267-2792, 267-1368.  
trade@lpbl.spb.ru (торговый отдел)

193029, пр. Елизарова, 1,  
склад № 2: (812)265-0088, 567-5493, 567-1445.  
root@lanpbl.spb.ru

Филиал в Москве:  
Москва, 7-я ул. Текстильщиков, д. 5, тел.: (095)919-96-00.

Филиал в Краснодаре:  
350072, Краснодар, ул. Зиповская, д. 7, тел.: (8612)57-97-81.

Сдано в набор 20.02.99. Подписано в печать 27.10.99.  
Формат 84×108 1/32. Гарнитура Школьная.  
Печать высокая. Печ. л. 11. Тираж 3000 экз. Заказ № 1672.

Отпечатано с готовых диапозитивов  
в ГПП «Печатный Двор»  
Министерства РФ по делам печати,  
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.  
197110, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., 15.