

## Физические явления и эффекты

В этом разделе даются краткие сообщения о некоторых эффектах, по какой-либо причине невошедшие в предыдущие главы "Указателя". В некоторых случаях это объясняется несовершенством принципа, положенного нами в основу систематизации физических эффектов, в других - эффекты привлекли наше внимание уже после написания основных разделов, некоторые эффекты вообще трудно было назвать физическими, как например, эффект Мебиуса. Тем не менее, многие из них, по нашему мнению, могут с успехом использоваться в изобретательской практике.

### 19.1. 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 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 находящееся 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 сообщает 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.

А.с. 261 400: Способ зарядки частиц, заключающийся в том, что при помощи коронного разрядника, 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 проявления термофоретических сил заряженные частицы аэрозоля не могут осаждаться в области плазмы коронного разряда.

## 19.2. Фотофорез.

Если аэрозоль осветить интенсивным направленным пучком света, то аэрозольные частицы начинают совершать упорядоченные движения, причем некоторые из них в направлении распространения света (положительный Ф.Ф.), а другие навстречу ему (отрицательный Ф.Ф.). Наиболее сильно Ф.Ф. проявляется на окрашенных частицах. Тип Ф.Ф. 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 Ф.Ф. Так, для мелких частиц основным фактором является световое давление, оно и обуславливает в данном случае положительный фотофорез.

19.2.1. Интенсивное явления обнаружено в аэрозолях селеновой и железной пыли. В этих системах под влиянием светового потока аэрозольные частицы начинают двигаться в направлении перпендикулярном направлению распространения света.

## 19.3. 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.

А.с. 515 936: Способ определения окружных люфтов трансмиссий с ведомым и ведущими валами, заключающийся в том, что на ведомом валу наносят 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 неподвижно 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 частоты 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 тел.

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 светового восприятия - инерционность, глаз как бы "видит" изображение предыдущего

кадра некоторое время после того, как экран погас.

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.

А.с. 255 684: 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 ультразвуковых волн, освещаемых 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 заключении отметим, что стробоскопический эффект является ярким проявлением закона согласования ритмики частей системы.

#### 19.4. Муаровый эффект.

При наложении двух систем контрастных полос возникает узор, образованный их сгущениями в местах, где полосы одной системы попадают в промежутки между полосами другой системы. Возникновения 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.

19.4.1. Муаровый узор образуется также при наложении двух непересекающихся систем равноудаленных параллельных линий, когда величина шага 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 миллионы раз) разницы в ширине промежутков между линиями. Иначе говоря муаровый эффект дает возможность визуально без применения оптических систем, обнаруживать ничтожные отклонения в почти одинаковых периодических структурах. В настоящее время метод муара широко применяют при контроле точности делительных устройств для изготовления дифракционных решеток.

19.4.2. Муар возникает на электронной микрофотографии двух кристаллов, наложенных таким образом, что их атомные решетки почти совпадают. Любой дефект нарушающий регулярность структуры кристалла, четко проявляется в муаровом узоре. Увеличение при этом таково, что позволяет видеть смещения атомов, величины которых меньше диаметра самого атома.

19.4.3. 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.

А.с. 297 861: 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 и скорости перемещения муаровой полосы и по величине этого отношения судят о величине деформаций.

Описанное проявление муарового эффекта издавна используется во всех измерительных приборах, обладающих нондусом, таких, как микрометр или штангенциркуль.

19.4.4. 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.

19.4.5. Этот же принцип позволяет производить экспресс-анализ качества оптических деталей. Линзы помещают между решетками, наличие выпуклой линзы увеличивает элементы муарового узора, вогнутой - уменьшают. При этом обе линзы поворачивают узор в противоположных направлениях на угол, пропорциональный фокусному расстоянию. В местах неоднородностей структуры или формы линз линии узора искажаются.

Еще пример контроля оптики!

А.с. 515 937: Интерференционный способ измерения клиновидности оптических прозрачных пластин, заключающийся в том, что пучок света от лазера фокусирует с помощью объектива в плоскость отверстия в экране, за которым устанавливают контролируемую пластину, отличающийся 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, накладывают интерференционную картину на

копию и по ширине муаровых полос, образовавшихся от наложения, измеряют клиновидность платины.

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, интерференция 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 быстровращающихся деталей, при анализе обтекания тел поверхностным слоем жидкости в медицинских исследованиях анатомического характера.

Универсальность метода муара, простота преобразования с его помощью различных величин, близка к ИКР, высокая разрешающая способность - все это говорит о том, изобретатели еще не раз обратятся в своей практике к муаровому эффекту.

#### 19.5. Высокодисперсные структуры.

Одной из тенденций развития технических систем является увеличение степени дисперсности входящих в них веществ. При этом наблюдаются качественные изменения свойств дисперсной структуры по сравнению со свойствами монолитного нераздробленного вещества.

Высокодисперсные структуры подразделяются на сыпучие, консолидированные и коллоидные. Из сыпучих порошков особый интерес представляют ферромагнитные порошки, так как ими легко управлять магнитным полем (1), и их можно вводить в виде индикаторных добавок в немагнитные вещества с целью выяснения условий действующих внутри исследуемого вещества (температуры, давления и т.п.).

А.с. 239 643: Способ определения степени затвердевания полимерного состава. В полимер в небольшом количестве вводят ферромагнитный порошок. Полимер затвердевая сдавливает частицы порошка, который при этом меняет свои магнитные свойства, что легко обнаружить.

19.5.1. Консолидированные тела - это тела, полученные путем прессования или спекания мелкого порошка (размеры частиц от 10 до 100 мкм). Консолидированные тела обнаруживают много интересных свойств (2), 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 вещества, изотропно. Параметры такого консолидированного тела (электропроводность, теплопроводность, распространение звука, модуль упругости и т.п.) в направлении прессования выше, 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 других характеристик 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.

#### 19.6. Электрореологический эффект.

Электрореологическим эффектом называется быстрое обратимое повышение эффективной вязкости неводных дисперсных систем в сильных электрических полях (3).

Электрореологические суспензии состоят из неполярной дисперсной среды и твердой дисперсной фазы с достаточно высокой диэлектрической проницаемостью. Дисперсными средами могут служить неполярные или слабополярные органические жидкости с достаточно высоким электрическим сопротивлением (порядка 10 ом.см). Например, светлые масла (валелиновое, трансформаторное), растительные масла (косторовое), диэфиры (дибутилсебацат), нефтановые 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 вначале оста-

ется неизменной, затем падает. Вид зависимости эффекта от частоты зависит от состава дисперсной системы.

Электрореологические суспензии весьма чувствительны к изменениям температуры. Нагрев снижает абсолютную величину эффективной вязкости системы. С ростом температуры влияние электрического поля постепенно невидится.

#### 19.7. 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 электронов. Если частицы дисперсной 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 (см.12) и соответственно на катоде или на аноде осаждается слой дисперсной фазы. Это свойство используется для создания информационных табло и экранов отображения - плоских устройств для показа картин 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. конструкции муфт сцепления, тормозов и других фрикционных устройств;
3. зажимные и фиксирующие устройства ( если пленку электросвязкой жидкости нанести на тонкую пластину диэлектрика, с другой стороны которого располагаются электроды, соединенные с источником одно или трехфазного тока, то электропроводный эффект, установленный на пластине, будет жестко зафиксирован "затвердевший" пленкой при наложении достаточно интенсивного электрического поля);
4. жидкие электрогенераторы, преобразователи тока;

5. электрокинетические весы, примеры использования электрореологического эффекта подробно рассмотрены в (3).

## 19.8. Жидкие кристаллы.

Представим себе жидкость, молекулы которой имеют удлиненную палочкообразную 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 другие характеристики (например, теплопроводность) в различных направлениях, т.е. они будут анизотропной. 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 "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 относительно друг 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 являются 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.

19.8.1. Прежде всего было найдено, что воздействие электрического поля на жидкие кристаллы приводит к электрооптическим эффектам, не имеющих 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.



19.8.2. 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 приходивший 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 соответствующие напряжения, 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 микрометров позволяет получить изображение, затрачивая мощность порядка микроватт. При этом из-за тонкости слоя жидкого кристалла необходимое напряжение на ячейке составит всего несколько вольт.

19.8.3. Удивительные превращения происходят с лучом света при взаимодействии с холестерическим жидким кристаллом, т. е. 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 на сотые доли 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 который контрастными пятнами поступают любые дефекты, и неоднородности, даже скрытые далеко в структуре, благодаря неодинаковой их теплопроводности.

19.8.4. 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, повешенная на тонкую черную мембрану. Мембрана поглощает сфокусированное на ней инфракрас-

расное излучение и передает тепло слою жидкого кристалла. 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 излучения в видимое обычно используют преобразователи на основе фотоэмиссионных или фосфороресцирующих устройств с весьма сложной и дорогостоящей электроникой. Предельная простота и малая стоимость делает жидкокристаллические преобразователи несравненно более выгодными.

Из смеси холестерических веществ можно изготавливать температурные индикаторы в интервале температур от 20 до 250 С. Индикаторы представляют собой тонкую гибкую пленку жидкого кристалла, заключенную между двумя полимерными пленками. Такую пленку можно накладывать на поверхности деталей для регистрации температурных градиентов в различных направлениях.

19.8.5. 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. С помощью жидкого кристалла удастся установить присутствие в воздухе пара при его концентрации - несколько частей на миллион. Этот способ имеет большую практическую ценность.

## 19.9. О смачивании.(к 3.3.2.)

19.9.1. 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.

19.9.2.Эффект капиллярного "клея" - сцепление частиц, пластин и т.д.,разделенных тонкой прослойкой смачивающей жидкости. Капиллярное давление способствует повышению прочности тонкодисперсных пористых структур.

19.9.3. Теплота смачивания - выделяется при смачивании (в том числе и при избирательном смачивании). Является характеристикой имерсионного смачивания (в том числе смачивания порошков).

Используется для получения информации о свойствах тела (подложки).

19.9.4. 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).

## Л И Т Е Р А Т У Р А .

Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М., "Химия", 1976

Дерягин Д.В. Свойства тонких жидких слоев и их роль в дисперсных системах. М., Издат-во Всесоюзного совета научно-инж. и техн. о-в, 1973.

19.10. Если взять бумажную ленту, облизать ее противоположные концы так, чтобы получилось кольцо, а затем развернуть один из концов на 180 градусов и склеить ее друг с другом, то мы получим т.н. кольцо Мебиуса, тело, обладающее очень интересным свойством. Можно ли одновременно находится и снаружи и внутри кольца? Явное физическое противоречие. Однако, оно легко преодолевается, если это кольцо - кольцо Меблуса, это тело имеет лишь одну неверность, и потому, например, муравей, ползущий по внутренней поверхности нашего бумажного кольца, не переползая через край полоски, может оказаться на "наружной" поверхности кольца. Кольцо Меблуса не одинаково среди подобных тел, так, например, существует и "одноповерхностная" бутылка.

А.С.Н.444682 Устройство для формирования детали из полимерных материалов, например, мембран из провинуилта, содержащее замкнутую ленту с формирующими элементами, натянутую на барабан, ведущий из которых снабжен нагревателем и направляющее ролики, отличающееся тем, что, с целью повышения долговечности ленты, они выполнены в виде ленты Меблуса с формирующими элементами на двух ее сторонах.

см.так же А.С.Н 446011

19.11. Обработка магнитными электрическими полями.

Омагничивание воды. Это словосочетание прочно вошло в изобретательскую практику. И неважно, что до сих пор нет четкого объяснения изменения свойств воды после наложения на нее магнитного поля (1-3). Важно что применение этого эффекта позволяет интенсифицировать многие процессы.

А.С. N 511644. Способ изготовления люминафора 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.

А.С. N 423767. Способ обработки воды затворения 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 затворения воздействуют вращающимся магнитным полем с напряженностью 100-2000 А (СМ. при промышленной частоте эл. тока и скорости протекания воды 0,5-2,5 м/сек.)

Начали обрабатывать магнитным полем и др. вещества .

А.С. N 427953. Способ обработки композиций на основе латекса, обработанного переменным или постоянным магнитным полем, отличающийся тем, что с целью улучшения физико-мех. и тех-ких свойств мастик и клеев на основе латекса, латекс пропускают через магнитное поле напряженностью от 400 до 2000 в перпендикулярно его силовым линиям со скоростью 0,1-5,0 м/сек

В некоторых случаях в изображениях одинаково хорошо работает и магнитное, и электрическое поле.

А.С. N 484245. Способ обработки смазочно-охлаждающей жидкости, отличающейся тем, что с целью повышения стойкости режущего инструмента и повышения смазочных свойств жидкости, последнюю подвергают воздействию эл. или магн. поля.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А .

1. В. Классен .Перспективы применения магнитной обработки водных систем химической промышленности. "Химическая промышленность" N1,1974.

2. Н.И. ЛЫШАГИН К изменению свойств омагниченной воды. "Изв. высш. учеб. заведений. Физика, 1974, нр 2, стр.44-103.

3. "Изобретатель и рационализатор", 1975, нр 10, 26.

4. А.С. NN 422562, 542526, 518553, 416047, 346553, 496253, 496146.

## 1. Механические эффекты

- 1.1. Силы инерции.
  - 1.1.1. Инерционное напряжение.
  - 1.1.2. Центробежные силы.
  - 1.1.3. Момент инерции.
  - 1.1.4. Гироскопический эффект.
- 1.2. Гравитация.
- 1.3. Трение.
  - 1.3.1. Явление аномально низкого трения.
  - 1.3.2. Эффект безысности.
  - 1.3.3. Эффект Джонсона-Рабека.

## 2. Деформация.

- 2.1. Общая характеристика.
  - 2.1.1. Связь электропроводности с деформацией.
  - 2.1.2. Электропластический эффект.
  - 2.1.3. Фотопластический эффект.
  - 2.1.4. Эффект Баушингера.
  - 2.1.5. Эффект Пойнтинга.
- 2.2. Передача энергии при ударах. Эффект Ю.Александрова.
- 2.3. Эффект радиационного распухания.
- 2.4. Сплавы с памятью.

## 3. Молекулярные явления.

- 3.1. Тепловое расширение вещества.
  - 3.1.1. Сила теплого расширения.
  - 3.1.2. Получение высокого давления.
  - 3.1.3. Разность эффекта.
  - 3.1.4. Точность теплового расширения.
- 3.2. Фазовые переходы. Агрегатное состояние вещества.
  - 3.2.1. Эффект сверхпластичности.
  - 3.2.2. Изменение плотности и модуля упругости при фазовых переходах.
- 3.3. Поверхностные явления. Капиллярность.
  - 3.3.1. Поверхностная энергия.
  - 3.3.2. Смачивание.
  - 3.3.3. Автофобность.
  - 3.3.4. Капиллярное давление, испарение и конденсация
  - 3.3.5. Эффект капиллярного подъема.
  - 3.3.6. Ультразвуковой капиллярный эффект.
  - 3.3.7. Термокапиллярный эффект.
  - 3.3.8. Электрокапиллярный эффект.
  - 3.3.9. Капиллярный полупроводник.
- 3.4. Сорбция.
  - 3.4.1. Капиллярная конденсация.
  - 3.4.2. Фотоадсорбционный эффект.
  - 3.4.3. Влияние электрического поля на адсорбцию.
  - 3.4.4. Адсорболоминесценция.
  - 3.4.5. Радикально-рекомбинационная люминесценция.

- 3.4.6. Адсорбционная эмиссия.
- 3.4.7. Влияние адсорбции на электропроводность полупроводников.
- 3.5. Диффузия.
- 3.5.1. Эффект люфора.
- 3.6. Осмос.
- 3.6.1. Электроосмос.
- 3.6.2. Обратный осмос.
- 3.7. Тепломассообмен.
- 3.7.1. Тепловые трубы.
- 3.8. Молекулярные неолитовые сита.
- 3.8.1. Цветовые эффекты в неолитах.

#### 4. Гидростатика. гидро-аэродинамика.

- 4.1.1. Закон Архимеда.
- 4.1.2. Закон Паскаля.
- 4.2. Течение жидкости и газа.
- 4.2.1. Ламинарность и турбулентность.
- 4.2.2. Закон Беркулли.
- 4.2.3. Вязкость.
- 4.2.4. Вязкоэлектрический эффект.
- 4.3. Явление сверхтекучести.
- 4.3.1. Сверхтеплопроводность.
- 4.3.2. Термомеханический эффект.
- 4.3.3. Механокалорический эффект.
- 4.3.4. Перенос по пленке.
- 4.4.2. Скачок уплотнения.
- 4.4.3. Эффект Коанда.
- 4.4.4. Эффект воронки.
- 4.5. Эффект Магнуса.
- 4.6. Дросселирование жидкостей и газов.
- 4.6.1. Эффект Джоуля-Томсона.
- 4.7. Гидравлические удары.
- 4.7.1. Электрогидравлический удар.
- 4.7.2. Светогидравлический удар.
- 4.8. Квитанция.
- 4.8.1. Гидродинамическая квитанция.
- 4.8.2. Акустическая квитанция.
- 4.8.3. Сонолюминесценция.

#### 5. Колебания и волны.

- 5.1. Механические колебания.
- 5.1.1. Свободные колебания.
- 5.1.2. Вынужденные колебания.
- 5.1.3. Явление резонанса.
- 5.1.4. Автоколебания.
- 5.2. Акустика.
- 5.2.1. Явление реверберации.
- 5.3. Ультразвук.
- 5.3.1. Пластическая деформация и упрочнение.
- 5.3.2. Влияние ультразвука на физико-химические свойства металлических расплавов:
  - 5.3.2.1. на вязкость

- 5.3.2.2. на поверхностное натяжение
- 5.3.2.3. на теплообмен
- 5.3.2.4. на диффузию
- 5.3.2.5. на растворимость металлов и сплавов
- 5.3.2.6. на модифицирование сплавов
- 5.3.2.7. на дегазацию расплавов.
- 5.3.3. Ультразвуковой капиллярный эффект.
- 5.3.4. Некоторые возможности использования ультразвука.
- 5.3.5. Акустомагнетоэлектрический эффект.
- 5.4. Волновое движение.
- 5.4.1. Стоячие волны.
- 5.4.2. Эффект Доплера-Физо.
- 5.4.3. Поляризация.
- 5.4.4. Дифракция.
- 5.4.5. Интерференция.
- 5.4.6. Голография.

## 6. Электромагнитные явления.

- 6.1. Взаимодействие тел.
- 6.1.1. Закон Кулона.
- 6.2. Индуцированные заряды.
- 6.3. Втягивание диэлектрика в конденсатор.
- 6.4. Закон Джоуля-Ленца.
- 6.5. Проводимость металлов.
- 6.5.1. Влияние фазовых переходов.
- 6.5.2. Влияние высоких давлений.
- 6.5.3. Влияние состава.
- 6.6. Сверхпроводимость.
- 6.6.1. Критические значения параметров.
- 6.7. Электромагнитное поле.
- 6.7.1. Магнитная индукция. Сила Лоренца.
- 6.7.2. Движение зарядов в магнитном поле.
- 6.8. Проводник с током в магнитном поле.
- 6.8.1. Взаимодействие проводников с током.
- 6.9. Электродвижущая сила индукции.
- 6.9.1. Взаимная индукция.
- 6.9.2. Самоиндукция.
- 6.10. Индукционные токи.
- 6.10.1. Токи Фуко.
- 6.10.2. Механическое действие токов Фуко.
- 6.10.3. Магнитное поле вихревых токов. Эффект Мейснера.
- 6.10.4. Подвеска в магнитном поле.
- 6.10.5. Поверхностный эффект.
- 6.11. Электромагнитные волны.
- 6.11.1. Излучение движущегося заряда.
- 6.11.2. Эффект Вавилова-Черенкова.
- 6.11.3. Бататронное излучение.

## 7. Диэлектрические свойства вещества.

- 7.1.1. Изоляторы и полупроводники.
- 7.1.2. Сопротивление электрическому току.
- 7.1.3. Тепловые потери.
- 7.2. Диэлектрическая проницаемость.

- 7.2.1. Частотная зависимость.
- 7.3. Пробой диэлектриков.
- 7.4. Электромеханические эффекты в диэлектриках.
  - 7.4.1. Электростракция.
  - 7.4.2. Пьезоэлектрический эффект.
  - 7.4.3. Обратный пьезоэффект.
- 7.5. Пироэлектрики.
  - 7.5.2. Сегнетоэлектрики.
  - 7.5.3. Сегнетоэлектрическая температура Кюри.
  - 7.5.4. Антисегнетоэлектрики.
  - 7.5.5. Сегнетоферромагнетики.
  - 7.5.6. Магнитоэлектрический эффект.
- 7.6. Влияние электрического поля и механических напряжений на сегнетоэлектрический эффект.
  - 7.6.1. Сдвиг температуры Кюри.
  - 7.6.2. Аномалии свойств при фазовых переходах.
  - 7.6.3. Пироэффект в сегнетоэлектриках.
- 7.7. Электреты.

## 8. Магнитные свойства вещества.

- 8.1. Магнетики.
  - 8.1.1. Диамагнетики.
  - 8.1.2. Парамагнетики.
  - 8.1.3. Ферромагнетизм.
    - 8.1.3.1. Точка Кюри.
  - 8.1.4. Антиферромагнетики.
    - 8.1.4.1. Точка Нееля.
  - 8.1.5. Температурный магнитный гистерезис.
  - 8.1.6. Ферромагнетизм.
  - 8.1.7. Суперпарамагнетизм.
  - 8.1.8. Пьезомагнетики.
  - 8.1.9. Магнитоэлектрики.
- 8.2. Магнитокалорический эффект.
- 8.3. Магнитострикция.
  - 8.3.1. Термострикция.
- 8.4. Магнитоэлектрический эффект.
- 8.5. Гироманитные явления.
- 8.6. Магнитоакустический эффект.
- 8.7. Ферромагнитный резонанс.
- 8.8. Аномалии свойств при фазовых переходах.
  - 8.8.1. Эффекты Гипокинса и Баркгаузена.

## 9. Контактные, термоэлектрические и эмиссионные явления.

- 9.1. Контактная разность потенциалов.
  - 9.1.1. Трибоэлектричество.
  - 9.1.2. Вентильный эффект.
- 9.2. Термоэлектрические явления.
  - 9.2.1. Эффект Зеебека.
  - 9.2.2. Эффект Пельтье.
  - 9.2.3. Явление Томсона.
- 9.3. Электронная эмиссия.
  - 9.3.1. Автоэлектронная эмиссия.



9.3.2. Эффект Мольтере.

9.3.3. Туннельный эффект.

10. Гальвано- и термомагнитные явления.

10.1.1. Гальваномагнитные явления.

10.1.2. Эффект Хола.

10.1.3. Эффект Этиингсгаузена.

10.1.4. Магнитоопротивление.

10.1.5. Эффект Томсона.

10.2. Термомагнитные явления.

10.2.1. Эффект Нернета.

10.2.2. Эффект Риги-Ледюка.

10.2.3. Продольные эффекты.

10.2.4. Электронный фототермомагнитный эффект.

11. Электрические разряды в газах.

11.1. Факторы, влияющие на газовый разряд.

11.1.1. Потенциал ионизации.

11.1.2. Фотоионизация атомов.

11.1.3. Поверхностная ионизация.

11.1.4. Применение ионизации.

11.2. Высокочастотный тороидальный разряд.

11.3. Роль среды и электродов.

11.4. Тлеющий разряд.

11.5. Страты.

11.6. Коронный разряд.

11.7. Дуговой разряд.

11.8. Искровой разряд.

11.9. Факельный разряд.

11.10. "Стекание" зарядов с острия.

12. Электрокинетические явления.

12.1. Электроосмос.

12.2. Обратный эффект.

12.3. Электрофорез.

12.4. Обратный эффект.

12.5. Электрокапиллярные явления.

13. Свет и вещество.

13.1. Свет.

13.1.1. Световое давление.

13.2. Отражение и преломление света.

13.2.1. Полное внутреннее отражение.

13.3. Поглощение и рассеяние.

13.4. Испускание и поглощение.

13.4.1. Оптико-акустический эффект.

13.4.2. Спектральный анализ.

13.4.3. Спектры испускания.

13.4.4. Вунужденное извлечение.

13.4.5. Инверсия населенности.

13.4.6. Лазеры и их применение.

14. Фотоэлектрические и фотохимические явления.

14.1. Фотоэлектрические явления.

- 14.1.1. Фотоэффект.
- 14.1.2. Эффект Дембера.
- 14.1.3. Фотопьезоэлектрический эффект.
- 14.1.4. Фотомагнитный эффект.
- 14.2. Фотохимические явления.
- 14.2.1. Фотохромный эффект.
- 14.2.2. Фотоферроэлектрический эффект.

## 15. Люминисценция.

- 15.1. Люминисценция, возбуждаемая электромагнитным излучением.
  - 15.1.1. Фотолюминисценция.
  - 15.1.2. Антистокосовские .....
  - 15.1.3. Рентгенолюминисценция.
- 15.2. Люминисценция, возбуждаемая корпускулярным излучением.
  - 15.2.1. Катодолюминисценция.
  - 15.2.2. Ионолюминисценция.
  - 15.2.3. Радиолюминисценция.
- 15.3. Электрорлюминисценция.
  - 15.3.1. Инжекционная люминисценция.
- 15.4. Химилюминисценция.
  - 15.4.1. Радикалолюминисценция.
  - 15.4.2. Кандолюминисценция.
- 15.5. Механолюминисценция.
- 15.6. Радиотермолюминисценция.
- 15.7. Стимуляция люминисценции.
- 15.8. Тушение люминисценции.
- 15.9. Поляризация люминисценции.

## 16. Анизотропия и свет.

- 16.1. Двойное лучепреломление.
- 16.2. Механооптические явления.
  - 16.2.1. Фотоупругость.
  - 16.2.2. Эффект Максвелла.
- 16.3. Электрооптические явления.
  - 16.3.1. Эффект Керра.
  - 16.3.2. Эффект Поггеля.
- 16.4. Магнитооптические явления.
  - 16.4.1. Эффект Фарадея.
  - 16.4.2. Обратный эффект.
  - 16.4.3. Магнитооптический эффект Зерра.
  - 16.4.4. Эффект Коттона-Муттона.
  - 16.4.5. Прямой и обращенный эффект Зеемана.
- 16.5. Фотодихроизм-
  - 16.5.1. Дихроизм.
  - 16.5.2. Естественная оптическая активность.
- 16.6. Поляризация при рассеивании.

## 17. Эффекты нелинейной оптики.

- 17.1. Вынужденное рассеяние света.
- 17.2. Генерация оптических гармоник.
- 17.3. Параметрическая генерация света.

- 17.4. Эффект насыщения.
- 17.5. Многофотонное поглощение.
- 17.5.1. Многофотонный фотоэффект.
- 17.6. Эффект самофокусирования.
- 17.7. Светогидравлический удар.
- 17.8. Гистерезисные скачки.

#### 18. Явления микромира.

- 18.1. Радиоактивность.
- 18.2. Рентгеновское и -излучение.
- 18.2.1. адгезиолюминисценция.
- 18.2.2. Астеризм.
- 18.3. Взаимодействие рентгеновского и -излучений с веществом.
- 18.3.1. Фотоэффект.
- 18.3.3. Когерентное рассеяние.
- 18.3.4. Образование пар.
- 18.4. Взаимодействие электронов с веществом.
- 18.4.1. Упругое рассеяние.
- 18.4.2. Неупругое рассеяние.
- 18.4.3. Тормозное излучение.
- 18.4.4. Совместное облучение электродами и светом.
- 18.5. Взаимодействие нейтронов с веществом.
- 18.5.1. Нейтронное распухание.
- 18.6. Взаимодействие -частиц с веществом.
- 18.7. Радиотермолюминисценция.
- 18.8. Эффект Месбауэра.
- 18.9. Электронный парамагнитный резонанс.
- 18.10. Ядерный магнитный резонанс.
- 18.11. Эффект Сверхаузера-Абрагама.

#### 19. Разное.

- 19.1. Термофорез.
- 19.2. Фотофорез.
- 19.2.1. "Перпендикулярный" фотофорез.
- 19.3. Стробоскопический эффект.
- 19.4. Муаровый эффект.
- 19.4.1. Контроль размеров.
- 19.4.2. Выявление дефектов.
- 19.4.3. Конусные шкалы.
- 19.4.4. Измерение параметров оптических сред.
- 19.4.5. Контроль оптики.
- 19.5. Высокодисперсные структуры.
- 19.5.1. Консолидированные тела.
- 19.6. Эпекстрореологический эффект.
- 19.7. Ресалектрический эффект.
- 19.8. Жидкие кристаллы.
- 19.8.1. Электрооптические эффекты.
- 19.8.2. Динамическое рассеяние.
- 19.8.3. Управление окраской кристаллов.
- 19.8.4. Визуализация ИК-изобретения.
- 19.8.5. Химическая чувствительность.
- 19.9. Смачивание (к 3.3.2)

- 19.9.1. Эффект ратекания жидкости под окисными пленками металлов.
- 19.9.2. Эффект капиллярного клея.
- 19.9.3. Теплота смачивания.
- 19.9.4. Магнитотепловой эффект смачивания.
- 19.10. Лента Мебиуса.
- 19.11. Обработка магнитными и электрическими полями.

## Механические эффекты

### 1.1. Силы инерции.

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

1.1.1. 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 "давят" на более близкие. Во всем объеме тела возникают напряжения приводящие к смещениям частиц тела. Этот эффект используется в различных инерционных выключателях, переключателях и акселерометрах.

А.с. 483 120: Переключатель для электромеханической игрушки, содержащий корпус с контактами и установленный в нем с возможностью ограниченного поворота диск с токосъемками 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. А.с. 509 539: Способ получения карбонила вольфрама путем обработки порошкообразного вольфрама окисью углерода при осуществлении ее циркуляции и выводе конечного продукта из зоны реакции с последующей его конденсацией, отличающийся тем, что с целью упрощения процесса и обеспечения его непрерывности, процесс ведут в измельчительном аппарате с инерционной нагрузкой 15-40 при давлении окиси углерода 0,9-10 ата и температуре 20-30 С.

1.1.2. 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.

А.с. 518 322: Способ шлифования криволинейных поверхностей движущейся абразивной лентой, при котором ленту поджимает к обрабатываемой детали контактным копиром, эквидистантным на толщину ленты обрабатываемой поверхности, отличающийся тем, что с целью обеспечения возможности обработки выпуклых поверхностей, ленту прижимают к рабочей поверхности контактного копира 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,

электрическое и гравитационное поля и т.д. В случае разрыва связей, соединяющих взаимодействующие тела, оторвавшееся тело будет двигаться прямолинейно (по инерции).

Патент ФРГ 1 229 253: Способ изготовления листочков или чешуек из стекла, отличающийся тем, что стекло, размягченное при нагревании, наносят на стенку в форме круга, имеющего по окружности закраину. Стенки для образования пленки из стекла приводят во вращение. Пленка размягченного стекла выбрасывается через закраину под действием центробежных сил. Затем пленка затвердевает на некотором расстоянии от вращающейся стенки и разбивается на листочки.

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

А.с. 538 800: 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 изделий и долговечности машин, момент инерции изменяют путем подачи или отвода жидкости во внутренние полости маховых масс.

А.с. 523 213: Способ уравнивания сил инерции подвижных элементов машин, заключающийся в том, что уравниваемый элемент машины, соединяют с аккумулялирующим телом и приводят их во вращение, отличающийся тем, что с целью повышения эффективности уравнивания, в качестве аккумулялирующего тела используют маховик с изменяемым радиусом центра масс, например, центробежный регулятор.

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

А.с. 283 885: Способ деарации порошкообразных веществ путем уплотнения, отличающийся тем, что с целью интенсификации, деарацию производят под воздействием центробежных сил.

А.с. 415 036: Способ приготовления сорбена для акстракционной хромофотографии путем смещения жидкой фазы и твердого носителя, отличающийся тем, что с целью повышения равномерности распределения жидкой фазы на твердом носителе и интенсификации процесса, удаления избытка жидкой фазы, смещение производят в центробежном поле. а также для деформации:

А.с. 517 501: Способ отбортовки труб из термопластичного материала, включающий операции 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 т.к., если нагретую жидкость под давлением подавать 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, вызовет рост линейной скорости. Согласно закону Бернулли увеличение скорости приведет к падению давления в движущейся жидкости. Поэтому жидкость, недогретая 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, пропорциональная ее плотности и сила тяжести, также пропорциональная той же плотности. Поэтому на форму параболического мениска плотность не влияет, т.е. любые жидкости будут иметь одинаковые формы.

А.с. 232 450: 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 меньшим удельным весом, затвердевающую при вращении резервуара.

1.1.4. Отметим еще одну особенность вращающихся систем.

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

А.с. 474 444: Локомотив с электропередачей, содержащий аккумулятор энергии в виде вращающегося маховика, связанный с преобразователем энергии, представляющий 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. Изменяя процессию гироскопа, можно определить величину внешних сил, действующих на гироскоп.

А.с. 487 336: Устройство для определения силы трения, содержащее корпус, карданный подвес, ротор с приводом, установленные в карданном подвесе, держатели образца и контробразца, нагружающий механизм, взаимодействующий с держателем контробразца, датчик угловой скорости процессии, связанный с рамками 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 процессии связан с внешней рамкой процессии.

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, которую затем можно преобразовывать в кинетическую энергию поступательного движения. На этом принципе работают инерционные аккумуляторы, используемые, например, в гиробусах.

А.с. 518 302: Машины для инерционной сварки, трением, содержащая привод вращения и шпиндель с массой для накопления энергии, отличающийся тем, что с целью уменьшения энергоемкости процесса, масса для накопления энергии выполнена в виде инерционного пульсатора.

А.с. 518 381: Привод кузнечно-прессовой машины, содержа-

ший электродвигатель и насос, соединенный трубопроводом через распределительную систему с аккумулятором и рабочим цилиндром машины, отличающийся тем, что с целью повышения КПД он снабжен дополнительным аккумулятором энергии - маховиком, установленным в кинематической цепи, связывающей электродвигатель с насосом. Силы инерции проявляются при изменении скорости движущегося тела или при появлении центростремительной силы; в этих случаях всегда появляется реальная сила, которую можно использовать в различных процессах и при этом совершенно "бесплатно".

## 1.2. Гравитация.

Кроме того, масса является мерой инертности тела, любая масса является источником гравитационного поля. Через гравитационные поля осуществляется взаимодействие масс. Гравитационные силы самые слабые из всех сил, известных науке; тем не менее, при наличии больших масс (например, Земля) эти силы во многом определяют поведение физических систем. Количественно 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 (конечно, если на эти тела не действуют никакие другие силы - сопротивление воздуха и т.д.). 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 - точнокалиброванные.

Патент США 3 552 283: Устройство отмечающее положение плоскости Земли при помощи устройства, отмечающего положение плоскости Земли, образуется изображение на экспонируемой фотографической пленке, позволяющее определить на проявленном негативе или на позитивном отпечатке положение плоскости Земли независимо от положения камеры во время кино съемки. Устройство содержит прозрачное тело с грузиком, смещающимся под действием силы тяжести в самый нижний угол этого тела. Прозрачное тело может располагаться внутри корпуса камеры или внутри кассеты для роликовой пленки, причем единственным требованием к прозрачному телу является то, чтобы оно находилось на пути световых лучей, идущих от фотографируемого объекта на пленку, установленную в камере. На краю кадра проявленного негатива или позитивной пленки образуется метка в виде стрелки, направленной в сторону плоскости Земли. Метка в виде стрелки может использоваться для правильной ориентации пленки или диапозитива.

А.с. 189 597: 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 электродетонаторами.

## 1.3. 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 трения качения и трения скольжения. Феноменологическая теория трения 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 сил трения. Характерно, что при трении наблюдаются значительные деформации пограничного слоя, сопровождающиеся структурными превращениями, избирательной диффузией: учет всех этих процессов затруднен из-за сильной зависимости от температуры. Температура на пятнах касания возрастает очень быстро и может достигать несколько сот градусов. Обычно трение качения, при котором основная работа затрачивается на передоформирование материала при формировании валика перед катящимся телом, много меньше трения скольжения. Но как только скорость качения достигает скорости распространения деформаций, трение качения резко возрастает; поэтому при больших скоростях качения лучше использовать трение скольжения. 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, ликвидируют трение покоя.

1.3.1. Явление аномально 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 моле-



кул воды, препятствующих ориентации. К тому же водная пленка сама является источником довольно сильных адгезионных связей. Явление аномально низкого трения можно использовать к примерам подшипников: А.с. 290 131: Подшипник скольжения, содержащий корпус, в котором смонтирован вал посредством сегментов с металлической рабочей поверхностью, расположенных равномерно по окружности, отличающееся тем, что с целью уменьшения коэффициента трения при работе в вакууме, он снабжен источником быстрых и нейтральных молекул газа, например, инертного, встроенного в корпус между сегментами и направляющим поток молекул на рабочую поверхность вала, покрытую полимером, например, полиэтиленом.

### 1.3.2. Эффект безыносности.

Всегда и везде ранее принималось, что трение и износ два неразрывно связанных явления. Однако в результате открытия (nr -41) Крагельского И.В. и Гаркунова Д.Н. 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.

### 1.3.3. Эффект Джонсона-Рабека.

Если нагревать пару соприкасающихся трущихся поверхностей - полупроводник и металл, то сила трения между этими поверхностями будет 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 охватывающую его ленту.

Патент Англии 1 118 627: Устройство для передачи вращения между двумя валами, состоящая из двух соприкасающихся дисков, один из которых выполнен из полупроводникового материала, а второй - металлический. Регулирование передаваемого момента происходит при нагреве соприкасающихся упомянутых материалов путем пропускания электрического тока между ними.

Интересное использование трения:

А.с. 350 577: Способ получения отливок, заключающийся в пропускании расплавленного металла через каналы, выполненные в теле оправки, отличающееся тем, что с целью совмещения процесса плавки и заливки металла, оправку поднимают к металлической заготовке и вращают, расплавляя заготовку теплом, выделяющимся в процессе трения.

## ЛИТЕРАТУРА

- К 1.2. Я.Н.Ройтенберг, Гироскопы, М., "Наука", 1975  
В.А.Павлов, Гироскопический эффект, его проявление и использование, Л., "Судостроение", 1972  
Н.В.Гулия, Возрожденная энергия, "Наука и жизнь", 1975, нр-7.  
К 1.3. А.А.Силин, Трение и его роль в развитии техники, М., "Наука", 1976.  
И.В.Крагельский, Трение и износ, М., "машиностроение", 1968  
Д.Н.Гаркунов, Избирательный перенос в узлах трения, М., "Транспорт", 1969.

## ДЕФОРМАЦИЯ.

### 2.1. Общая характеристика.

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

В теории деформации твердых тел рассматриваются многие типы деформаций-сдвига, кручения 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 деформации 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 о том и о другом, а в некоторых- о степени изменения свойств деформируемого тела при том или ином внешнем воздействии.

А.с. 232571: Способ измерения спорных реакций машин и станков в эксплуатационных условиях, отличающийся тем, что, с целью определения реакций в спорах с резиновым упругим элементом, измеряют величину деформации свободной поверхности резинового упругого элемента, по которой судят о величине опорной реакции.

#### 2.1.1. С в я з ь э л е к т р о п р о в о д н о с т и с д е ф о р м а ц и е й.

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. Напомним, что макроскопическая пластическая деформация осуществляется перемещением большого количества дислокаций, способность же кристалла оказывать сопротивление пластической

деформации определяется их подвижностью.

Эффект наблюдался на многих сверхпроводниках при различных способах механических испытаний. В экспериментах было обнаружено значительное повышение пластичности металла /разупрочнение/ при переходе его в сверхпроводящее состояние. Величина эффекта в некоторых случаях достигла нескольких десятков процентов. Детальное изучение явления разупрочнения привело к выводу, что "виновником" его следует считать изменение при сверхпроводящем переходе тормозящего воздействия электронов проводимости на дислокации. Силы "трения" отдельной дислокации об электроны в несверхпроводящем металле резко уменьшаются при сверхпроводящем переходе. Таким образом, обнаружена прямая связь механической характеристики металла его пластичности с чисто электронной характеристикой-проводимостью. Главный вывод-электроны металлов тормозят дислокации в сегда. 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 в 11-ой и 10 в 12-ой сек. Исходя из экспериментов ожидают использования новых эффектов в обычных условиях.

#### 2.1.2. Электропластический

##### эффект в металлах

Установлен электропластический эффект в металлах и доказана возможность его применения для практических целей. 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 гр.С 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. Если создать хорошие условия теплоотвода от деформируемых образцов и пропускать по ним ток высокой плотности 10 в 4-ой 10 в 6-ой а/см./2 то величина эффекта будет порядка десятков процентов. Электрический ток вызывает также увеличение скорости релаксации напряжений в металле и оказывается удобным технологическим фактором для снятия внутренних напряжений в металле. Электропластический эффект также линейно зависит от плотности тока (вплоть до 10 в 5-ой а/см./2 ) и имеет большую величину при импульсном токе, а при переменном вообще не наблюдается.

Видна связь явления разупрочнения металла при сверхпроводящем переходе с электропластическим эффектом. В этом и другом случае происходит разупрочнение металла. Однако, если в первом случае в основе явления лежит уменьшение сопротивления движению и взаимодействию 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 (или снижающую обычное электронное торможение дислокаций) Этот эффект уже находит свое применение на практике:

А. ... : "Способ снижения прочности металлов, например, при пластической деформации при котором через заготовку пропускают электрический ток отличающийся тем, что с целью снижения прочности металла при сохранении его низкой температуры, к заготовке прикладывают импульсы тока плотностью преимущественно  $10 \text{ а/см.}^2$ , с частотой подачи 20-25 Гц.

#### 2.1.3. Ф о т о п л а с т и ч е с к и й э ф ф е к т .

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. Не будет ли свет влиять на пластические свойства полупроводников? Советские ученые Осиньян и Савченко на этот вопрос отвечают утвердительно. Их открытие зарегистрировано под номером 93 в такой формулировке:

"Установлено ранее неизвестное явление, заключающееся в изменении сопротивления пластической деформации кристаллов полупроводников под действием света, причем максимальное изменение происходит при длинных волн, соответствующих краю собственного поглощения кристаллов".

В их опытах образцы полупроводников сжимались и растягивались до наступления пластической деформации. Затем образец освещался 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 - и н ф р а к р а с н о г о г а ш е н и я ф о т о п л а с т и ч е с к о г о э ф ф е к т а .

Эффект фотопластичности предполагается использовать для разработки нового типа элементов автоматики, новой технологии полупроводников, для создания качественно новых приемников видимого светового и инфракрасного излучения.

#### 2.1.4. Э ф ф е к т Б а у ш и н г е р а .

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 пластичес-

кой 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 материала. 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

#### 2.1.5. Э ф ф е к т П о й н т и н г а .

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 изменениями модуля ЮНГА - это позволяет предполагать, что свойства материала остаются без изменений.

Эффект Пойнтинга нашел применение в машиностроении.

Пример тому А.с.546456: Способ демонтажа прессовых соединений деталей типа вал-втулка путем воздействия на охватываемую деталь усилием выпрессовки, отличающийся тем, что с целью снижения усилия выпрессовки, например, подшипников качения с вала, перед выпрессовкой, охватываемую 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.

#### 2.2 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 конфигурацией соударяющихся тел (удар упругий) При увеличении отношения масс соударяющихся тел сверх

критического коэффициента передачи энергии определяется не реальным соотношением масс а критическим значением этого от-ношения. 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 иллюстрацияк тому: А.с.. 203557 Механизм для воздействия на твердое тело ударной нагрузкой,содержит два или более соударяющихся элементов,причем один из них является рабочим, непосредственно воздействующим на твердое тело, отличающийся тем,что в нем предусмотрено средство для создания перед каждым соударением элементов дополнительного зазора в системе "соударяющиеся элементы-твердое тело" и один или несколько из соударяющихся элементов, за исключением рабочего, выполнены из материала с меньшим модулем упругости, чем материал элемента.

На основе открытия Александрова создан так называемый механический полупроводник,в котором передача энергии практически осуществляется только в одном направлении, независимо от жесткости опоры. На этой основе уже создан новый отбойный молоток,который в два раза легче серийного и обладает большой производительностью.Теоретически доказана возможность и целесообразность бурения на глубинах до 100 м без погружения бурильной машины в скважину.

А.с..447496: Наддолотный утяжелитель,состоящий из несоединенных между собой свободно установленных на бурильной колонне грузовых трубчатых элементов, отличающихся тем,что с целью усиления ударных нагрузок на долото,каждый вышележащий грузовой трубчатый элемент имеет большую массу по сравнению с нижележащими.

### 2.3. Эффект радиационного распухания металла.

Как бы не пытались исправить деформированную деталь, она все равно вспомнит свойдефект,частично восстановит прежнюю покоробленность.Виной тому внутреннее напряжение в материалах. Они существуют всегда.Отжиг ликвидирует их в металлах, но при остывании, которое идет не равномерно,внутренние напряжения хотя и ослабленные,появляются вновь.С помощью холодной правки идеально выгладить стальное изделие 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 месте,либо оставляют эти места свободными. Большая же часть ионов внедряется в междоузлия.Обрабатываемая часть изделия при этом увеличивает свой объем.

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

Действие радиации легко рассчитать. Известно, что максимальное изменение объема стали при нейтронном облучении составляет 0,3%. Например, если подвергнуть облучению только средний участок стальной детали длиной 1000 мм и высотой 50 мм, то 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 массой внедрившихся частиц. Поэтому изделие самопроизвольно уже не разогнется. Этот способ защищен авторским свидетельством 395147 (см. 18.5.1) 2.4. С п л а в ы с п а м я т ь ю .

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.Бойкова. После того, как нитинолу дадут "запомнить" сложную форму, изделие вновь превращается в плоский лист. На его поверхность наносят обычными приемами - с помощью проката, напыления, сварки взрывом или как-либо иначе слой любого другого металла или сплава.

Такой металлический слоеный пирог после нагревания вновь превращается в деталь сложной конфигурации. Таким способом можно, в принципе создавать многослойные изделия любой формы, которые обычными приемами сделать никак нельзя. ТН сплавы легко обрабатываются, из них изготавливают всевозможные изделия: листки, прутки, 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-проволочку свернули в спираль. Охладили, подвесили гирьку-пружинка растянулась. Если теперь через проволочку пропустить электрический ток, пружинка нагреется и восстановит свою форму - гирька поползет вверх, выключаем ток - гирька вновь спускается 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, термупругие элементы, реле, приборы контроля, тепловые домкраты, напряженный железобетон и многое другое.

#### ЛИТЕРАТУРА

К 2.1.1. М.И.Каганов, В.Д.Нацик, Электроны тормозят дислокацию "Природа", 1976, н'5, стр.23-24: н'6, стр.131-139.

К 2.1.2. В.И.Спицын, О.А.Троицкий, Электропластическая деформация металлов, "Природа", 1977.

К 2.1.3. Ю.Осипьян, И.Савченко, "Письма в ЖЭТФ, вып.7, н'4.

К 2.1.4. С.И.Ратнер, Ю.С.Данилов, Изменение пределов пропорциональности и текучести при повторном нагружении, "Заводская лаборатория", 1950, н'4.

Ф.Ходж Теория идеально пластических тел, М.. "ИЛ", 1956

К 2.4. И.И.Карнилов и др., Никелид титана и другие сплавы с эффектом "памяти", "Наука", 1977.

#### Молекулярные явления

##### 3.1. Тепловое расширение вещества.

Все вещества (газы, жидкости, твердые тела) имеют атомно-молекулярную структуру. Атом, равно как 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 чего газы, жидкости и твердые тела расширяются - при условии, что внешнее давление остается постоянным. Коэффициенты расширения различных газов близки между собой (около 0,0037 град в степени  $^{-1}$ "); для жидкостей они могут различаться на порядок (ртуть - 0,00018 град в степени  $^{-1}$ ", глицерин - 0,0005 град в степени  $^{-1}$ ", ацетон - 0,0014 град в степени  $^{-1}$ ", эфир - 0,007 град в степени  $^{-1}$ "). Величина теплового расширения твердых тел определяется их строением. Структуры с плотной упаковкой (алмаз, платина, отдельные металлические сплавы) мало чувствительны к температуре, рыхлая, неплотная упаковка вещества способствует сильному расширению твердых тел (алюминий, полиэтилен).

3.1.1. При температурном расширении или сжатии твердых тел развиваются огромные силы; это можно использовать в соответствующих технологических процессах.

Например, это свойство использовано в электрическом домкрате для растяжения арматуры 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.

3.1.2. С помощью теплового расширения жидкости можно создать необходимые гидростатические давления.

А.с. н' 471140: Устройство для волочения металлов со смазкой под давлением, содержащее установленные в корпусе рабочую и уплотнительную волокнистые структуры, образующие между собой и корпусом камеру (в которой находится смазка).

Ред. (и средства для создания высокого давления, ОТЛИЧАЮЩИЕСЯ тем, что с целью упрощения конструкции и повышения производительности средство для создания в камере высокого давления выполнено в виде нагревательного элемента, расположенного внутри камеры.

3.1.3. Тепловое расширение может просто решить технические задачи, которые обычными средствами расширяются 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 не возможно без риска испортить деталь. Но достаточно сделать вал из металла коэффициентом термического или, если это невозможно, ввести в сопрягаемое пространство прокладку из металла с меньшим терморасширением, как техническое противоречие исчезает.

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

А.с. н 175190: Устройство для учета количества наливов металла в изложницу, отличающаяся 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 шариками и биметаллической пластинки, на конце которой укреплен отсекающий, пропускающий при нагреве пластинки шарик, падающий в накопительную емкость.

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

А.с 518614: 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 пункту 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.

3.1.4. 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 3569707 Устройство для измерения импульсного излучения при помощи теплотатчиков. Энергия, поглощаемая материалом, на который воздействует импульсное ядерное излучение, измеряется путем детектирования теплового расширения этого материала тензодатчиками.

3.2. Фазовые переходы. Агрегатные состояния веществ.

При фазовых переходах первого рода скачком изменяются плотность веществ 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 испытывает 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 агрегатного состояния в другое.

В физике рассматривают четыре агрегатных состояния: твердое, жидкое, газообразное и плазменное.

При переходах 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 Э или поглотителем тепла, работающим практически при постоянной температуре.

А.с.н 426030: 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 позволяет очень просто решать до этого почти неразрешимые технические задачи. Например, как заполнить послойно емкость смешивающимися между собой жидкостями?

А.с.н 509275: Способ послойного заполнения емкости смешивающимися 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 резко изменяются электрические характеристики вещества. Так, если металл в твердом или жидком виде - проводник, то пары металла - типичный диэлектрик. Это свойство остроумно использовано в патенте США. Прибор для измерения давления жидкого металла содержит пробоотборную трубку типа трубки Вентури. Через участок этой пробоотборной трубки пропускается 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.

3.2.1. 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 перестройки кристаллической решетки металл начинает переходить из парамагнитного состояния в ферромагнитное, что сопровождается резким изменением его магнитной проницаемости. Этим воспользовались авторы изобретения. По А.С. 207678 пусковое устройство прессы связано с прибором улавливающим момент фазового перехода: заготовку, нагретую до температуры чуть выше интервала фазового превращения, кладут в матрицу прессы. 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 прессы, но и с нагревательными элементами. Пилообразно гоня заготовку вверх и вниз 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 градусов С), 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.

3.2.2. Интересно, что мартенсит имеет меньшую плотность,

чем аустенит. Если к изогнутой деформацией части детали приложить хотя бы кусок "сухого льда", температура которого минус 67 градусов С, то обрабатываемый участок расширится, распрямив тем самым деталь. А поскольку фазовый переход необратим, то самопроизвольного восстановления кривизны в дальнейшем не произойдет. Превращение десяти процентов аустенита в мартенсит вызывает увеличение 100 миллиметрового диаметра изделия на 130 микрометров, а переход 40% аустенита в мартенсит - 400 микрометров. К плюсам нового метода добавим еще один: выдержка при низкой температуре в течение 5 минут и 5 часов дает практически одинаковые результаты. Ну, и конечно, обработку изогнутых деталей холодом, как и радиацией, можно вести в собственной, готовой машине (сравни с 2.3).

На этот способ выдано авторское свидетельство .414027.

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

При фазовых переходах второго рода также наблюдаются интересные изменения макроскопических свойств объектов (см. 8.8)

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

А.С.266471: 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 А.С. .263209 чувствительным элементом термометра является пружина из чистого хрома.

### 3.3. 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).

#### 3.3.1. Разность этих энергий носит название по-верх-ност-ной-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 натяжения, стремящихся сократить поверхность раз-

дела. Такое стремление есть следствие общего физического закона, согласно которому любая система стремится свести свою потенциальную энергию к минимуму. Жидкость, находящаяся в невисомости, 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.

3.3.2. 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 жидкость), 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 поверхности 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 несмачивание (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 (ИР-6.5, С.33)

3.3.3. При растекании жидкости по ее собственному монослою адсорбированному на высокоэнергетической поверхности наблюдается эффект Авогастро-Бонсти.

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.

3.3.4. Капиллярное давление - появляется из-за искривления поверхности жидкости в капилляре. Для выпуклой поверхности давление положительно, для вогнутой - отрица-

тельно. Эффект определяет движение жидкостей в порах, влияет на кипение и конденсацию.

**Капиллярное испарение** - увеличение испарения жидкости вследствие понижения 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 царапинах.

А.С. 279583. 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.

А.С..225284 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 расходным металлом или сплавом, поступающим благодаря капиллярным силам с тыльной стороны концентратора.

3.3.5. Эффект капиллярного подъема (опускания) - возникает из-за различия давлений над и под поверхностью жидкости 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.

3.3.6. Открытие .109: Ультразвуковой

**капиллярный эффект** - увеличение скорости

и высоты подъема жидкости в капиллярах при непосредственном воздействии ультразвука в десятки раз. Этот эффект реализован в А.С.315224 "Способ ультразвуковой пропитки пористых материалов" в А.он применен для резкого повышения эффективности тепловой трубы, для чего в зоне конденсации тепловой трубы прикрепили через акустический концентратор излучатель магнитострикционного типа, соединенный с генератором ультразвуковой частоты. Ультразвук, воздействуя на пористый фитиль, способствует быстрейшему возврату конденсата в зону испарения. При этом величина максимального удельного теплового потока вырастает на порядок .

3.3.7. Темперокапиллярный эффект - за-

висимость 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 воз-

никает поток жидкости в смачивающей пленке. Влияние неравномерного нагрева различно для чистых жидкостей и растворов (например, поверхностноактивных). 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, что как изменяется поверхностное натяжение в зоне нагрева от температуры и испарения какого либо компонента.

### 3.3.8. Э л е к т р о к а п и л я р н ы й э ф ф е к т -

-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 потенциала можно осуществить инверсию смачивания - переход от несмачивания к смачиванию и наоборот.

### 3.3.9. К а п и л я р н ы й п о л у п р о в о д н и к .

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

3.4. 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 больше количество частиц другого тела оно поможет поглотить своей поверхностью. Процесс самопроизвольного "сгущения" растворенного или парообразного вещества (газа) на поверхности твердого тела или жидкости носит название с о р б ц и и . Поглощающее вещество называется с о р б е н т о м , а поглощаемое с о р б т и в о м .

Процесс, обратный сорбции называется д е с о р б ц и е й . В зависимости от того насколько глубоко проникают частицы на адсорцию, когда вещество поглощается на поверхности тела, и абсорцию, когда вещество поглощается всем объемом тела. В зависимости от характера взаимодействия частиц сорбента и сорбтива, сорбция физическая (взаимодействие обусловлено силами когезии и адгезии т.е. силами Ван-дер-Ваальса) и химическая, или ее еще называют, хемосорбция;

#### 3.4.1. Особое положение занимает сорбционный процесс, называемый к а п и л л я р н о й к о н д е н с а ц и е й .

Сущность этого процесса заключается не только в поглощении, но и в конденсации твердым пористым сорбентом, например, активизированным углем газов и паров.

Из всех перечисленных выше сорбционных явлений наибольшее значение для практики имеет адсорбция. Чем менее энергичны 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 теплосиловых установках.

А.с. Н 224743: Двухфазное рабочее тело для компрессора 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 использованы сорбенты с общей или избирательной поглотительной способностью.

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

#### 3.4.2. Ф о т о а д с о р б ц и о н н ы й э ф ф е к т -

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.

#### 3.4.3. В л и я н и е э л е к т р и ч е с к о г о п о л я

н а а д с о р б а ц и ю. Это зависимость адсорбционной способности от величины приложенного электрического поля. Влияет на фотоадсорбционный эффект. Поле прилагают перпендикулярно поверхности полупроводника - адсорбента.

#### 3.4.4. А д с о р б л ю м и н е с ц е н ц и я -

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 адсорблوميинесценции, как правило, тот же, что и при фотолюминесценции, т.е. определяется природой активатора, введенного в полупроводник, и вовсе не зависит от природы адсорбируемого газа. Адсорблوميинесценция является одним из видов х е м о л ю м и н е с ц е н ц и и (15.4).

#### 3.4.5. Р а д и к а л о - р е к о м б и н а ц и о н н а я л ю м и н е с ц е н ц и я (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 адсорблوميинесценции, испускаются те же частоты, что и при фотолюминесценции. Они образуют полосу, которую называют обычно основной полосой. Следовательно, цвет обминесценции меняется при смене активатора, 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 адсорблوميинесценции и радикалоре-



комбинационной люминесценции, 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.

#### 3.4.6. 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. По тому, как она изменяется, часто можно судить о составе газовой фазы. Давление газовой фазы также влияет на работу выхода.

#### 3.4.7. 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.

#### 3.5. 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 градиентов, 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, возникновению диффузионных потоков приводит наличие температурных градиентов в веществе (термодиффузия). Перепад температур в однородной 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.

##### 3.5.1. При диффузионном перемещении двух газов, находя-

щихся при одинаковой температуре, наблюдается явление, обратное термодиффузии: в смеси возникает разность температур - эффект Дюфора. При диффузионном смешивании газов, составляющих воздух возникающая разность температур составляет несколько градусов.

Явление диффузии молекул в струю пара 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 металла 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 металлы лежит в основе процесса азотирования. Диффузионное насыщение поверхностных слоев металла различными элементами позволяет получать самые различные свойства поверхностей, необходимые в практике. Фактически процессы цементации, алитирования, фосфатирования есть процессы диффузии углерода, алюминия, фосфора внутрь структуры металла. Скорость диффузии при этом легко регулируется с помощью различных режимов термообработки.

А.с Н 461774: 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.

### 3.6. Осмос.

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

Энергию осмотического давления предложили использовать авторы английского патента Н 1343891 : "Способ генерации механической энергии и устройство реализующее этот способ. Конструкция по патенту Н1343891 представляет собой открытую сверху трубу, погруженную в замкнутую полость, куда налита вода. Трубка сделана из прочного металла, в ней насажено 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 подпружиненным поршнем. Поршень сжимает в цилиндре воздух. Можно создать давление до трех тысяч атмосфер. 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 статистической физики. Огромна роль осмотических явлений в работе кровеносных систем человека и животных.

3.6.1. Осмос можно усилить (или ослабить) применяя электрические поля. Направленное движение раствора относительно поверхности твердого тела под действием электрического поля носит название электросмоса, являющегося одной из разновидностей электрокинетических явлений (см.12.1).

Липкая масса из смеси влажных грунтов с песком и остатками угля на дне вагонеток почти не поддается очистке даже специальными машинами. Специалисты Новомосковского института предложили использовать для очистки электросмос под воздействием на вагонетку с породой внешнего электрического поля между ее стенками и грузом (при движении воды относительно твердой горной массы) создается тончайшая водяная пленка. Такой "прокладке" достаточно, чтобы налипшая порода легко отделилась от корпуса вагонетки. А.с. н 240825: Способ сушки изоляции кабелей в шахтах электросетях 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 электросмоса.

3.6.2. Явление обратного осмоса применено (США) для получения питьевой воды из сильно загрязненной или соленой (гипельфльтрации). Непосредственно явление обратного 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 метров столб воды создает такой перепад давления на мембране, что она начинает работать как опреснитель. Соленая вода тяжелее пресной примерно на два с половиной процента. Чтобы пресная вода поднялась до уровня моря и стала переливаться через край трубы, трубу необходимо опустить на глубину 8750. Переливающаяся вода может вращать турбину.

3.7. Т е п л о м а с с о о б м е н.

Известны три основных механизма теплообмена - конвек-

ция, излучение и теплопроводность, в которой участвуют движущиеся или неподвижные молекулы вещества совершающие тепловые колебания. Передача тепла может сопровождаться перемещением массы или

Очень широко используется при сушке, которая применяется в различных областях техники и технологии. наиболее эффективно процесс сушки идет в колонных аппаратах со встречными потоками: сверху свободно падает вещество, подвергаемое сушке, а снизу встречным потоком поступает нагретый газ.

В донной 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, как медь.

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

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

Применение псевдожидкости в печах для высокотемпературного нагрева металла позволит 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, перемешиваясь потоками газа, отдает тепло металлу.

Хотя сам 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.

3.7.1 Среди новых теплообменных систем важное место занимают т е п л о в ы е т р у б ы. Один из простых вариантов тепловой трубы - это закрытый металлический цилиндр; его внутренние стенки выложены слоем пористо-капиллярного материала, пропитанного легковоспламеняющейся 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 тела 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 гр. С ; чтобы пропустить эту мощность через медный стержень такого же диаметра на его концах нужен был бы перепад температуры почти 150 000 гр. С .

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 МТД-генераторы - теплоносителем в тепловой трубе может быть жидкий 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. 3.8 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.

А.с. N 561233 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 образованы из цепочек анионитов кремния и алюминия. Из-за своего строения каркас имеет отрицательный 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 гр. С, 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 -196 гр. С адсорбционная способность цеолитов резко повышается. Они поглощают даже воздух, создавая в сосуде разряжение до 1.0e- 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.

А.с. N 550372 : Способ получения пентенов путем контактирования 1,3 пентадиенов с твердым окисным катализатором при 300-500 гр. 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 т.к. коэффициент расширения полностью гидратированного цеолита близок к коэффициенту терморасширения кварца: соответственно 6.91 и 5.21 .

3.8.1 Чистые цеолиты бесцветны. Если катионы щелочных или щелочноземельных металлов , обычно присутствующие в синтетических цеолитах , обменивать 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 дегидротации становится светло-зеленой, розовая кобальтовая форма-синей.

С п о с о б н о с т ь ц е о л и т о в м е н я т ь ц в е т  
в п р и с у т с т в и и п а р о в о д ы и с п о -  
л ь з у е т с я д л я е е о п р е д е л е н и я .

Цеолиты имеют очень интересные диэлектрические и электропроводные свойства. ЛИТЕРАТУРА

к 3.2 Б.Г.Гейликман, Статистическая физика фазовых переходов, т.1.М., "наука", 1954.

к 3.3 О.С.кондо, "Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях", М., "мир", 1963.

Б.Д.Суми, Ю.В.Горюнов, "Физико-химические основы смачивания и растекания", М., "Химия", 1976.

к 3.4 Ф.Ф.Волькштейн, "Полупроводники как катализаторы химических реакций", М., "Знание", 1974

(Новое в жизни, науке, технике. Серия "Химия", 11).

Ф.Ф.Волькштейн, "Радикало-рекомбинационная люминесценция полупроводников", М., "Наука", 1976

Н.К.Адам, "физика и химия поверхностей", М., 1947.

В.А.Пчелин, "В мире двух измерений", журнал "Химия и жизнь", 1976, 6, стр.9-15.

к 3.5 С.Р.де Грот, Термодинамика необратимых процессов М., 1956, Физическое металловедение, вып.2.М., "мир", 1968

В.Зайт, "Диффузия в металлах", М. 1958.

Я.Е.Гегузин, "Очерки о диффузиях в кристаллах", М., "Наука", 1974

к 3.7 Л.Л.Васильев, С.В.Конев, Теплопередающие трубки, Минск, "Наука и техника", 1972.

к 3.8 Д.Брек, "Цеолитовые молекулярные сита", М. "Мир", 1976.

Гидростатика. Гидро- и аэро-динамика

4.1.2. 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, следо-

вательно, в отсутствии силы тяжести или в состоянии невесомости давление во всех точках жидкости согласно закону Паскаля будет одинаковым.

Соответственно, поэтому и "не работает" закон Архимеда в этих условиях. На основе закона Паскаля работают гидравлические прессы и подъемники, некоторые вакуумметры различного рода гидро- и пневмо- усилители.

## 4.2 Течение жидкости и газа.

### 4.2.1 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 ( вязкость ), поэтому скорость потока жидкости ( или газа ) в трубе плавно убывает от центра трубы к стенкам. При турбулентном потоке скорость почти постоянна по сечению трубы, резко убывая на самой границе жидкости ( или газа ) со стенкой трубы.

А.С. N 508262 : Способ диспергирования нитевидных кристаллов путем перемешивания кристаллической массы в вязкой жидкости, отличающийся тем, что с целью уменьшения процента поломки кристаллов и времени процесса, перемешивание ведут в режиме ламинарного течения жидкости с вихрями Тейлора в коаксиальном зазоре гладкоствольного роторного аппарата.

А.С. N 523277 : Способ контроля шероховатости с помощью сопла, самоустанавливающегося по контролируемой поверхности, основанной на измерении давления жидкости при турбулентном режиме течения в зазоре между соплом и контролируемой поверхностью, 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.

### 4.2.2 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, ста-

тическое давление падает. Закон Бернулли справедлив и для ламинарных потоков газа. 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 поверхностях, находящихся в потоке жидкости, всегда образуются какие-то наросты, осаднения; этим же объясняется и тот факт, что на лопастях крутящегося вентилятора всегда появляется слой пыли.

Патент США N 3811323 : в измерителе потока жидкости турбинного типа отсутствие осевого давления на подшипники ротора достигнуто увеличением эффективной площади сечения потока на участке, что обеспечивает возникновение эффекта Бернулли, под влиянием чего на ротор воздействует усилие на участке, расположенном относительно ротора выше по течению потока.

А.С. N 437846 : 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 него в самом узком сечении выходного патрубка, затем лопатки устанавливают на заданный угол поворота и определяют статическое давление в сечении перед направляющим аппаратом, после чего производительность подсчитывают по зависимости, полученной на основании уравнений Бернулли и неразрывности потока.

#### 4.2.3 ВЯЗКОСТЬ

**ВЯЗКОСТЬ**- 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 мень-



ше, чем в газах, вязкость обусловлена в первую очередь межмолекулярными взаимодействиями, ограничивающими подвижность молекул. В жидкости молекула может проникнуть в соседний слой лишь при образовании в нем полости, достаточной для перескакивания туда молекулы. На образование полости расходуется энергия активизации 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.

#### 4.2.4 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 в начале пропорционально квадрату напряженности, а затем приближается к некоторому постоянному предельному значению ( ВЯЗКОСТИ НАСЫЩЕНИЯ ), зависящему от проводимости жидкости. Увеличение проводимости приводит к увеличению вязкости насыщения.

На эффект оказывает влияние частота поля. В начале 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 энергии.

#### 4.3 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, т.е. при температуре ниже - - перехода ( $T=2.17\text{ K}$ ) гелий можно представить себе состоящим из двух компонент - нормальный, свойства которого аналогичны свойствам гелия до перехода

(He I) и сверхтекучей, вязкость которой чрезвычайно мала (меньше  $1.0 \cdot 10^{-1}$ ).

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.

Свойство сверхтекучей компоненты легко проникать в малейшую щель делает He II удобным для поиска течей: погружение в He II - самая строгая проверка герметичности.

Малая ширина перехода ( $1.0 \cdot 10^{-4}$  К) позволяет использовать его как опорную точку при измерении температуры.

#### 4.3.1 СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ.

Благодаря встречному конвективному движению двух компонент тепло-передача в He II происходит без переноса массы, в результате чего теплопроводность He II чрезвычайно высока. Проявляется это, например, в прекращении кипения после II-перехода - теплопроводность настолько высока, что пузырьки газа образоваться 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.

#### 4.3.2 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 в обычную понизится концентрация сверхтекучей компоненты. Т.к. сверхтекучая компонента, стремясь к установлению равновесия, будет по капилляру поступать из ненагретого сосуда, а нормальная компонента из нагретого выходить не будет, уровень гелия в нагреваемом сосуде увеличится.

Этот эффект может быть использован для создания своеобразных насосов He II.

#### 4.3.3 МЕХАНО-КАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.

Если повысить давление в одном из сосудов, рассматривае-

мых 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 уносит, вследствие чего температура внутри этого сосуда будет повышаться. Температура же сосуда , в который 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 холодопроизводительность не уменьшается с понижением температуры.

Используя He II как холодильный агент возможно в принципе приблизиться сколь угодно близко к температуре абсолютного нуля.

#### 4.3.4 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 тонкую пленку можно рассматривать как капилляр, то при переносе гелия на пленке имеет место термохимический эффект. Можно усилить эффект , увеличив периметр тела, соединяющего два сосуда, например, вставив пучок проволоки.

Эффект нашел применение для разделения изотопов гелия He-3 и He-4. He-3 не сверхтекучий, и по пленке 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 Герц.

#### 4.4.1 ЭФФЕКТ ТОМСА.

Сопротивление , оказываемое трубопроводом потоку жидкости при ламинарном режиме течения меньше , чем при турбулентном.

В 1948 г. 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" различными присадками трубопроводы, "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 N 3435796 : 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 морс при температуре окружающей среды, но нерастворимую в воде температуре выше 70 градус Цельсия. 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.

А.с. N 244032: 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 до за счет образования под воздействием какого-либо поля из молекул самой жидкости присадок, аналогичных по свойствам полимерным молекулам.

А.с. N 364493: 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 пограничные слои высокомолекулярных составов, в пограничном слое создают электромагнитное поле, генерирующее комплексы молекул.

Применение способа по п.1 для решения внутренней задачи, например, для снижения сопротивления жидкости в трубопроводе.

4.4.2. С к а ч о к у п л о т н е н и я.

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 акустических или ударных волн. 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.

#### 4.4.3. Э ф ф е к т К о а н д а.

Румынский ученый Генри Коанд в 1932 году установил, что струя жидкости, вытекающая из сопла, стремится отклониться по направлению к стенке и при определенных условиях прилипает к ней. Это объясняется тем, что боковая стенка препятствует свободному поступлению воздуха с одной стороны струи, создавая вихрь в зоне и пониженного давления. Аналогично и поведение струи газа. На основе этого эффекта строится одна из ветвей пневмоники (струйной автоматики).

#### 4.4.4. Э ф ф е к т в о р о н к и.

Если уровень жидкости в сосуде с открытой поверхностью понизится до определенного уровня при свободном сливе жидкости че отверстие в нижней части сосуда, то на поверхности жидкости об водоворот (т.е. вихревое движение воды), который на редкость устойчив, и нарушить его трудно.

#### 4.5. Э ф ф е к т М а г н у с а.

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 вращается вокруг него. В той 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 сторонна 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 крученны 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 измерять поток и угловую скорость.

Патент США N 3587327: В устройстве для измерения угловой скорости и индикации направления вращения газовая струя разделяется на две струи, каждая из которых тангенциально касается противоположных сторон диска неподвижно закрепленного на аксиально вращающемся валу. Вращение диска накладывается на струи разность давлений, величина которых пропорциональна скорости вращения вала. В зависимости от направления вращения вала на ту или другую струю накладывается большее относительное давление.

А.с. N 514616: Способ разделения неоднородных жидких сред на легкую 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 перемещают в виде ряда, например, параллельных слоев с расстоянием между слоями, меньшими величинами диаметра частиц тяжелой фракции, и последовательно возрастающими при переходе от одного слоя к другому, скоростями обеспечивающими градиент скорости, направленной перпендикулярно перемещению слоев жидкости и создающий вращение частиц тяжелой фракции вокруг своей оси, и гидродинамическую подъемную силу, например силу эффекта Магнуса.

#### 4.6. 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 газов.

##### 4.6.1. Эффект Джоуля - Томсона.

(Дроссельэффект) заключается в изменении температуры газа при его адиабатическом (без теплообмена с окружающей средой) дросселировании, т.е. протекании через пористую перегородку, диафрагму или вентель. Эффект называется положительным, если температура газа при адиабатическом дросселировании понижает-

ся, и отрицательным, если она повышается. Для каждого реального газа существует точка инверсии - значение температуры при которой измеряется знак эффекта. Для воздуха и многих других газов точка инверсии лежит выше комнатной температуры и они охлаждаются в процессе Джоуля-Томсона. Дросселирование - один из основных процессов, применяемых в технике снижения газов и получения сверхнизких температур.

А.с.257801: Способ определения термодинамических величин газов, например, энтальпии, путем термостатирования исходного газа, дросселирования его с последующим измерением тепла, подведенного к газу, отличающийся тем, что с целью определения термодинамических величин газов с отрицательным эффектом Джоуля-Томсона, 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.

#### 4.7. Гидравлические удары.

Быстрое перекрытие трубопровода с движущейся жидкостью вызывает резкое повышение давления, которое распределяет 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.д.) 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 (о кавитации смотри раздел 4.8). Волны сжатия в жидкости возникают также при различного рода врывных явлениях в движущейся или покоящейся жидкости (глубинные бомбы).

Патент США N 3118417: Способ укрепления морского якоря заключается в следующем. Подвижной 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.

А.с. N 269045: 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.

А.с. N 348806: Способ размерной электрохимической обработки с регулированием рабочего зазора путем периодического соприкосновения электродов с последующим отводом электрода - инструмента на заданную величину, отличающийся тем, что для отвод инструмента используют силу гидравлического удара, возникающего в электролите, подаваемом в рабочий зазор.

#### 4.7.1. Электро - гидравлический 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 диамульсации жидкостей, интенсификации химических реакций и т.д.

Патент США N 3566447: Формирование пластических тел при помощи гидравлического удара высокой энергии. Патентуется гидравлическая система в которой столб жидкости, находящийся в баке гидропушки, направляется на заготовку. Для проведения жидкости в движение в указанном столбе жидкости производят электрический разряд, 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 10000 м/с.

В США эффект Юткина применяют для очистки электродов от налипшего на них при электролизе металлов, а в Польше - для упрочения стальных колец турбогенераторов. При этом стоимость операций, как правило, снижается.

А.с. N 117562: 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 стержней электрическим током (см. ниже А.с. N 129945) вполне пригодна для разрушения валунов и других крепких материалов, для разбивки бетонных фундаментов, зачистки окальных 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 N 13120 (1965) описан способ электрогидравлической формовки ртутно-серебрянными 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.

А.с. N 119074: Устройство для получения сверхвысоких гидравлических давлений предназначенное для осуществления способа по А.с. N 105011, 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, располагаемы по длине камеры на определенном расстоянии друг от друга.

А.с. N 129945: 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 эмульсного заряда токопроводящих элементов в виде проволоки, ленты или трубки, замыкающих электроды.

#### 4.7.2. Светогидравлический удар.

Советские физики (А.М.Прохоров, Г.А.Аскарьян и Г.П.Шапиро) установили, что мощные гидравлические волны можно получить используя луч квантового генератора (открытие N65). 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 пр электродов и т.д. Используя светогидравлический эффект, можно издали, дистанционно, возбуждать в жидкости гидравлические импульсы с помощью луча света (см. также 17.7).

#### 4.8. Кавитация.

Кавитацией называется образование разрывов сплошности жидкости в результате местного понижения давления. Если понижение давления происходит вследствие возникновения больших местных скоростей в потоке движущейся капельной жидкости, то кавитация называется гидродинамической, а если вследствие прохождения в жидкости акустических волн, то акустической.

##### 4.8.1. Гидродинамическая 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, приобретает способность к неограниченному росту. После перехода в зону пониженного давления рост прекращается и пузырьки начинают уменьшаться. Если пузырьки содержат достаточно много газа, то при достиже-

нии 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 несколько 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 кг/см. реальные жидкости менее прочны. Максимальная прочность на разрыв тщательно очищенной воды, достигнутая при растяжении воды при 10 град. составляет 260 кг/см. Обычно же разрыв наступает при давлениях, насыщенного пара. низкая прочность реальных жидкостей связана с наличием в них так называемых кавитационных зародышей - плохо смачиваемых участков твердого тела, твердых частиц, частиц, заполненных газом микроскопических газов 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 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 разрушила.

Очень часто используют происходящие при кавитации разрушения для ускорения различных технологических процессов.

А.с. N 443663: 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.

#### 4.8.2. Акустическая кавитация.

Это образование и захлопывание полостей и жидкости под воздействием звука. Полости образуются в результате разрыва жидкости 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 порога зависит от многих факторов. Порог повышается с ростом гидростатического давления, после обжата жидкости высоким (порядка 1000 атм.) статистическим давлением, при обезгаживании и охлаждении жидкости, с ростом частоты звука и с уменьшением продолжительности озвучивания. Порог выше для бегущей, чем для стоячей воды.

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 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 - обязаны своим происхождением ударам при захлопывании полостей и микропотокам вблизи пузырьков. Другие эффекты (например, 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 А.с. 200981 описывается установка, использующая в своей работе явление кавитации. Назначение установки - снятие заусенцев 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 глубоких отверстиях.

А.с. 285394: Способ создания кавитации в жидкости путем возбуждения непрерывных колебаний звуковой или ультразвуковой частоты, отличающийся тем, что с целью повышения эрозионной активности жидкости возбуждают в полупериод сжатия дополнительный пиковый импульс сжатия, соответствующий по времени концу фазы расширения или началу фазы захлопывания кавитационных полостей.

А.с. 409569: 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.

А.с. 446757: 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.

#### 4.8.3. Сонолюминисценция.

В момент захлопывания кавитационного пузырька наблюдается его слабое свечение, причиной этого явления является нагревание газа в пузырьке, обусловленное высокими давлениями при его схлопывании. Вспышка может длиться от  $1/20$  до  $1/1000$  сек. Интенсивность света зависит от количества газа в пузырьке: если газ в пузырьке отсутствует, то свечение не возникает. Свето-

вое излучения пузырька очень слабо и становится видимым при усилении или в полной темноте.

## ЛИТЕРАТУРА

К 4.1. М.И.Шлионис, Магнитные жидкости. УФН. 1974, т.112. авт. 3, стр.427

Н.З.Френкель, Гидравлика, М.-Л., 1956.

М.Д.Чертоусов, Гидравлика, М., 1957.

К 4.2. З.П.Шульман и др., Электрореологический эффект, Минск, "Наука и техника", 1972.

К 4.3. И.М.Холостников, Теория сверхтекучести, М., "Наука", 1977.

А.Роуз, Техника низкотемпературного эксперимента, М., "Мир", 1966.

К 4.4. Л.Лодж, Эластические жидкости, М., "Наука", 1969.

Физика ударных волн и высокотемпературных явлений, М., 1963.

В.Н.Дмитриев, Основы пневмоавтоматики, М., "Машиностроение", 1973.

Ю.Иванов, Была ли дырка в ванне Архимеда? "Техника молодежи", 1972, стр.40.

А.Альтшуль и др., Визревые воронки, "Наука и жизнь", 1968, N'7.

К 4.6. М.П.Малков, Справочник по физико-химическим основам глубокого охлаждения, М.-Л., 1963.

К 4.7. Н.Е.Жуковский, "О гидравлическом ударе в водопроводных кранах", М.-Л., 1949.

М.А.Мостков и др., "Расчеты гидравлического удара", М.-Л., 1952.

Г.В.Аронович и др., "Гидравлический удар и уравнительные резервуары", М., "Наука", 1968.

Л.А.Юткин, "Электрогидравлический эффект", М., "Машгиз", 1955.

К 4.8. Л.Родзинский, "Кавитация против кавитации", "Знание - сила", N'6, 1977, с.4.

Н.А.Рой, Возникновение и протекание ультразвуковой кавитации, Акустический журнал, 1957, вып. I.

И.Пирсол, "Кавитация", М., "Мир", 1975.

## КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

5.1. Механические колебания.

Колебаниями называют процессы, точно или приблизительно повторяющиеся через одинаковые промежутки времени. По своему характеру колебания подразделяют на:

#### 5.1.1. Свободные /или собственные/.

Свободные колебания - представляют собой колебания, совершаемые системами, представленными самим себе, около своего положения равновесия. Для возбуждения собственных колебаний требуется определенное количество энергии. Частота собственных колебаний определяется целиком свойствами самой системы.

А.с. 245 419: Способ определения главных центральных осей и моментов инерции геометрической фигуры, имеющей сложные очертания, путем измерения периода колебания пластинки, данной фигуре, отличающейся 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 пластинки, затем протягивают нить через вторую пару отверстий и также измеряют период колебания пластинки, и по измеренным периодам колебаний подсчитывают значения осевых и центробежных моментов инерции относительно центральных осей инерции фигуры.

А.с. 280 014: Способ определения координат центра тяжести механической системы, заключающийся в том, что к системе поочередно прикладывают движущие моменты, и по величине этих моментов в зависимости от веса системы определяют координаты ее центра тяжести, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерения при ограниченных углах поворота системы, движущие моменты, прикладываемые к системе, изменяют по гармоническому закону, с постоянной амплитудой на двух различных по частоте колебаний режимах, измеряют движущие моменты при прохождении системой нулевого положения и некоторого произвольного выбранного другого положения, отличного от нулевого, и по величине этих моментов в зависимости от частоты колебания системы и ее веса определяют координаты центра тяжести.

А.с. 288 383: Способ измерения натяжения движущейся магнитной ленты в лентопротяжных механизмах по частоте ее колебаний, отличающийся тем, что с целью повышения точности, регистрируют крутильные колебания ленты вокруг ее продольной оси, и по частотному спектру колебаний определяют среднюю величину натяжения ленты.

Свободные колебания из-за непрерывного расхода энергии на преодоление сил трения, всегда являются затухающими. Скорость затухания определяется характеристиками среды, в которой происходят колебания.

А.с. 246 101: 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.

А.с. 274 276: Способ измерения давления, воспринимаемого индикатором в виде кварцевой пластинки 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 ее давлениях.

А.с. 348945: Способ определения содержания в яйце плотной жидкой фракции, отличающийся тем, что с целью сохранения плотности яйца и сокращения продолжительности проведения процесса, содержания плотной жидкой фракции в яйце определяют по числу колебаний его содержимого путем воздействия на яйцо маятниковых маятниковых колебаний до заданной амплитуды затухания и последующего пересчета полученного числа колебаний по предварительно построенной калибровочной кривой на содержание плотной и жидкой фракции яйца.

5.1.2. В ы н у ж д е н н ы е колебания совершаются под действием внешней периодической /или почти периодической/ силы, например, колебания мембраны микрофона, барабанной перепонки уха, ударного элемента отбойных молотков, пластины магнитострикционного преобразователя ультразвуковых агрегатов. Частота вынужденных колебаний равна частоте вынуждающей силы, а амплитуда колебаний зависит от свойств системы.

А.с. 271 868: Способ автоматического контроля начала образования неразрушаемой структуры бетонной смеси при виброформировании путем фиксации момента изменения свойств бетонной смеси, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерения, определяют момент совпадения величин амплитуд вибрации бетонной смеси и стола виброплощадки.

А.с. 301 551: Способ измерения массы, включающий определение параметров колебания, отличающийся тем, что с целью точного измерения и исключения влияния внешних механических помех, например, при контроле массы рыбы загружаемой в консервную банку на плавучем рыбоконсервном заводе, на измеряемую упруго подвешенную массу периодически воздействует возмущающей силой с частотой, отличающейся от частоты помех и по амплитуде вынужденных колебаний, возникающих при этом, судят о величине массы.

А.с. 560 563: 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, определения 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.

А.с. 460 072: Способ распыления жидкостей, по которому на распыляемую жидкость накладывают высоко частотные колебания, отличающийся тем, что с целью повышения эффективности распыления, применяют последовательное наложение колебаний различных частот.

А.с. 512 893: 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, сматывающейся с подающего рулона, приводят в колебания, под действием которого преодолевается сила сцепления между витками ленты подающего рулона.

Если на сверло наложить в процессе сверления возвратопоступательные 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 уводит, трение уменьшается, повышается чистота поверхности сверления.

5.1.3. 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.

А.с. 119 132: Вибрационный транспортер, выполненный в виде желоба или трубы с размещенными вдоль них с определенным шагом вибраторами, отличающийся тем, что с целью уменьшения количества вибраторов, приводящих транспортер, часть из них заменена подпружиненными реактивными массами, настроенными в резонанс со всей колеблющейся системой.

А.с. 508 543: 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 одновре-



менной вибрацией всего изделия, осуществляемой в резонансном режиме с частотой, соответствующей частоте при его нагреве.

А.с. 515 006: Способ сушки дисперсных материалов, например, солода, в кипящем слое путем продувки его восходящим пульсирующим потоком теплоносителя, отличающийся тем, что с целью интенсификации тепломассообмена, продувку ведут в режиме резонанса с увеличением в зависимости от влажности материала частоты пульсаций потока теплоносителя, например, для солода от 6 до 14 Гц., и поддержанием ее средней частоте собственных колебаний плотности кипящего слоя, и для измерения каких-либо характеристик системы.

А.с. 175 265: Резонансный датчик уровня сжижения газов, содержащий колебательный контур, выполненный в виде стержней с укрепленными токопроводящими элементами, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерения, стержни настроены на различные резонансные частоты и расположены относительно друг друга на расстоянии, позволяющем образовать электрическую емкость, достаточную для возбуждения одного из стержней.

А.с. 271 051: 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.

А.с. 275 514: Способ определения химической стойкости пористого материала к воздействию агрессивных сред, отличающийся тем, что с целью повышения точности определения, образец подвергают воздействию механических колебаний, замеряют резонансную частоту его собственных колебаний, затем помещают в агрессивную среду и выдерживают необходимое время, зависящее от материала образца, после чего извлекают, промывают, сушат, снова подвергают воздействию механических колебаний с замером резонансной частоты собственных колебаний, и, по изменению упругих свойств, например, модуля упругости, вычисленного на основании замеренных величин резонансной частоты собственных колебаний образца, определяют его химическую стойкость.

А.с. 509 798: Способ испытания конструкций без разрушения материалов, заключающийся в том, что в элементе конструкции возбуждают колебания на его собственной частоте и увеличивают эту частоту при определении усилий, отличающийся тем, что с целью повышения точности, длину колеблющейся части элемента ограничивают положением дополнительных механических связей, после чего измеряют собственную частоту элемента под этой нагрузкой, и, сравнивая эти частоты, судят о величине начальных усилий.

А.с. 519 239: Способ обнаружения налипания металлов в калибрах валков чистовой клети при прокатке, например, арматур-

ной стали, включающей измерения амплитудно частотных характеристик процесса и сравнения их с эталонными, отличающийся тем, что с целью упрощения и повышения надежности способа, контролируют колебания раската в вертикальной плоскости на выходе из чистовой клетки, из сп выделяют составляющую колебаний полосы с частотой вращения валка и судят о налипании металла по трех-четырёх кратному увеличению амплитуды выделенной составляющей колебаний.

5.1.4. А в т о к о л е б а н и я - 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.

А.с. 267 993: 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.

А.с. 279 214: Способ измерения ускорения путем определения изменения анодного тока в газоразрядной трубке с плазменным шнуром, отличающийся тем, что с целью получения частотного выходного сигнала, в газоразрядной трубке создают неоднородное электрическое поле, вызывающее изменение частоты автоколебаний плазменного шнура при его смещении под действием ускорения относительно электродов, и по частоте колебаний судят о контролируемой величине.

## 5.2. Акустика.

Одним из широко известных колебательных движений является звук - продольные колебания частичек среды, в которых распространяется звуковая волна.

Акустические /звуковые/ колебания, как и механические колебания, часто используют для интенсификации различных технологических процессов.

А.с. 442 287: 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.

А.с. 500 817: Способ очистки изделий в жидкости, напри-

мер, материалов типа лент, при котором на изделие воздействуют движущимися относительно его 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 чего механические средства очистки располагают в акустическом поле.

А.с. 553 419: Способ чистки 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 псевдоожигенного сорбента под воздействием звукового поля.

А.с. 553 791: Способ сепарации взвешенных частиц путем воздействия на них акустическими колебаниями, отличающийся тем, что с целью сепарации частиц размерами меньше 0,5 мкм и разделения частиц одинаковых размеров различной плотности, акустические колебания генерируют в виде импульсов с периодом, меньшим времени релаксации сепарируемой частицы и длительностью возрастающей от 0,1 до 1 времени периода следования импульсов.

Акустические колебания различной частоты по разному воздействуют на животных.

На основе этого в США /патент N 557 889 / 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 при этом осуществляется модуляция раздражающих колебаний успокаивающими.

Характер звуковых колебаний зависит от свойства источника звука, поэтому, измеряя различные характеристики звуковых колебаний, можно установить характеристики источника звука.

А.с. 257 084: 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.

Звук распространяется в воздухе с определенной скоростью. Если в какой-то определенной системе координат возникает звуковой импульс, то по времени прохождения его к осям координат, которое может быть зафиксировано приемниками звука, можно определить координаты источника звука. Такой путь и избрали в институте Кибернетики АН БССР.

При использовании ЭВМ в качестве автоматического проектировщика необходимо вводить в нее графическую информацию. С этой целью графическая информация предоставляется в виде набора различных кривых, координаты которых вводятся с помощью миниатюрной искры, возникающей при соприкосновении специального звукового карандаша (Электроакустического преобразователя) с любой из точек чертежа, звук который достигает системы координатных микрофонов, расположенных по краям чертежа. Одна система выдает координату по X, другая по Y.

5.2.1. При подходе к прираде 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 течении которого интенсивность звука уменьшается в 1000000 раз) можно определить объем свободного помещения.

А.с. 346 588: 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.

### 5.3. Ультразвук.

Ультразвук - продольные колебания в газах, жидкостях и твердых телах в диапазоне частота  $20 \cdot 10^3$  в третьей степени 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 с сопровождающими эффектами:

отражением

Патент США 3554 030: Расписан расходомер, используемый для измерения и регистрации величины объемного расхода крови. Измерения производятся при помощи ультразвукового преобразова-

теля, 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.

фокусировкой

А.с. 183 574: 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.

образование 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 (см. раздел 4.8) и акустические потоки, носящие вихревой характер и возникающие в свободном неоднородном поле и вблизи препятствий, находящихся в ультразвуковом поле.

### 5.3. 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 активации 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, снятие напряжений, разблокировка дислокаций, увеличение их подвижности, что обеспечивает более интенсивный ход пластической деформации.

А.с. 436 750: Способ разбортовки 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.

А.с. 536 874: Способ профилирования материала типа пруткового путем наложения на заготовку ультразвуковых колебаний в ее пластической деформации, отличающийся тем, что с целью получения на заготовках периодического профиля синусоидального характера, заготовку предварительно подвергают воздействию ультразвуковых колебаний так, чтобы расположение пучностей и узлов ультразвуковой волны соответствовало выступам и впадинам заданного периодического профиля, после чего осуществляют процесс пластического деформирования заготовки в осевом направлении, перпендикулярном к направлению действия изгибных колебаний, растягивающими усилиями, достаточными для получения заданной глубины профиля.

Если валики прокатного стана колебать в направлении параллельном осям их вращения, с 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 свойства облучаемого металла, последний может пластически деформироваться при комнатной температуре без приложения внешней нагрузки.

5.3.2. Под действием ультразвука и з м е н я ю т с я о с н о в н ы е ф и з и к о - х и м и ч е с к и е с в о й с т в а р а с п л а в о в : вязкость, поверхностное натяжение на границе "расплав - форма" или "расплав - твердая фаза", температура и диффузия.

5.3.2.1. В я з к о с т ь, после ультразвуковой обработки расплава вязкость уменьшается на 10-50 %, 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.

5.3.2.2. П о в е р х н о с т н о е н а т я ж е н и е .  
Воздействие ультразвука на расплав в процессе кристаллизации уменьшает поверхностное натяжение между расплавом и кристаллом при двухфазном состоянии, за счет чего уменьшается переохлаждение расплавов и увеличивается количество кристаллических зародышей, а структура расплава получается более мелкозернистой.

5.3.2.3. Т е м п е р а т у р а . 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.

#### 5.3.2.4. Д и ф ф у з и я.

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.

#### 5.3.2.7. Д е г а з а ц и о н н ы й э ф ф е к т.

Под действием ультразвука растворенный газ сначала выделяется в виде пузырьков в зонах разряжения ультразвуковых волн, после этого 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 мелких движений коагулируют и, достигая определенных размеров, всплывают. Ускорение диффузии под действием ультразвука тоже может способствовать нарастанию газовых пузырьков.

#### 5.3.3. Ультразвуковой капиллярный эффект (открытие N109).

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 во и скорость подъема.

Экспериментально доказано, что в этом случае жидкость толкает вверх не радиационное давление и капиллярные силы, а стоячие ультразвуковые волны. Ультразвук снова и снова как бы сжимает столб жидкости и поднимает его вверх. Открытый эффект уже очень хорошо используется в промышленности, например, при пропитке изоляционными составами обмоток электродвигателей, окраске тканей, в теплых трубах и т.п.

А.с. 437 568: Способ пропитки капиллярных пористых тел жидкостями и расплавами, например, полимерным связующим, с применением ультразвуковых колебаний, отличающийся тем, что с целью интенсификации процессов пропитки ультразвуковые колебания сообщают пропитываемому телу.

5.3.4. Трудно перечислить все эффекты, возникающие в результате воздействия ультразвука на вещество, поэтому кратко перечислим основные области применения ультразвука и приведем в заключение несколько интересных изобретений, показывающих широкие возможности использования ультразвука в изобретательстве.

#### Твердые вещества

-----

- размерная обработка сверхтвердых и хрупких материалов (сверление отверстий сложной формы, шлифование, полирование, наклеп, волочение проволоки, прокатка фольги и т.д.)
- лужение и паяние металлов, керамики, стекла и т.п.
- сварка металлов и полимеров.

А.с. 505 540: Способ сварки трением встык разнородных металлов при котором осуществляют вращение одной заготовки, проковку стыка и обжатие его при помощи осадочной матрицы, надетой на неподвижную заготовку, отличающийся тем, что с целью повышения стабильности качества сварного шва и стойкости матрицы, проковку и обжатие стыка производят с наложением на осадочную матрицу поперечных звуковых колебаний с пучностью напряжений в очаге деформации при с менее окружной скорости вращающейся заготовки.

#### Жидкости (кавитирующие)

- очистка деталей от жировых и других загрязнений

А.с. 120 613: Устройство для автоматической очистки деталей, например, сеток радиоламп посредством промывочной жидкости, включающие промывочную ванну, транспортер, укладочное и разгрузочное приспособление, отличающееся тем, что с целью по-



вышения качества очистки, в промывочной ванне установлены ультразвуковые излучатели с концентраторами ультразвуковой энергии, служащие для создания фонтанов промывочной жидкости, омывающих сетки, перемещаемые над промывочной ванной.

- диспергирование твердых порошкообразных материалов в жидкостях, эмульгирование несмешивающихся жидкостей.

А.с. 517 294: Способ получения жирового концентрата, включающий смешивание жира с белковым стабилизатором и высушивание, отличающийся тем, что с целью длительного хранения высококилотных жиров, а также удешивления способа, жир перед смешиванием нейтрализуют в присутствии катализатора, смесь жира со стабилизатором эмульгируют с помощью ультразвука в течение 10-15 минут, а в качестве стабилизатора используют дунст.

- получение аэрозолей.  
- полимиризация или деструкция высокомолекулярных соединений, ускорение массообразных и химических процессов.  
- разрушение биологических объектов (микроорганизмов).

Действие ультразвука на жидкость базируется на использовании вторичных эффектов кавитации - высоких локальных давлений и температуры, образующихся при схлопывании кавитационных пузырьков.

Г а з ы

- сушка сыпучих, пористых и других материалов.  
- очистка газов от твердых частиц и аэрозолей.

### 5.3.5. Акустомагнетоэлектрический 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 приведет 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, то есть коковы свойства электронного газа в данной среде. В каждом веществе звук увлкает 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 тепло, а сама граница охлаждаться. Данный эффект похож на известный эффект Пельтье (см. раздел 9.2.2.).

Однако принципиальное отличие этого эффекта от эффекта Пельтье состоит в том, что он не исчезает, даже при очень низ-

ких температурах и охлаждение может продолжаться до температур, близких к абсолютному нулю. Это открытие зарегистрировано под номером 133 в следующей формулировке: "Установлено неизвестное ранее явление возникновения в телах, проводящих ток, перемещенных в магнитном 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 сделано ряд изобретений.

А.с. 512 422: 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.

А.с. 543 140: 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 прикладывается в направлении, перпендикулярном распространению поверхностной звуковой волны.

#### 5.4. 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" II, 1969)

В Японии предложено пропускать ультразвук через стальные изделия перпендикулярно тем поверхностям, расстояние между которыми нужно измерить. Стальные изделия помещались в острую ванну, которая просвечивалась ультразвуковыми импульсами. Измерив время необходимое для прохождения импульса от каждого

вибратора, определяли внешние размеры изделия /заявка Японии N 51-23193/.

При наличии дисперсии волн (см. раздел 5.4.7.) понятие скорости волны становится не однозначным; приходится различать фазовую скорость (скорость распространения определенной фазы волны) и групповую скорость, являющуюся скоростью переноса энергии, что усложняет различные измерительные работы с помощью различного вида колебаний. В случае же когерентного колебания фазовая скорость может нести информацию о свойствах среды.

А.с. 288 407: Способ измерения паросодержания пароводяных смесей и количества парогазовых включений по а.с. N'131138, отличающийся тем, что с целью повышения точности и чувствительности при измерениях паросодержания в высокочастотных трактах с большими потерями, отраженный сигнал, фаза которого характеризует измеряемый параметр, выделяют из высокочастотного тракта, усиливают, ограничивают по амплитуде и сравнивают его фазу с фазой опорного когерентного высокочастотного колебания.

А.с. 412 421: 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.

#### 5.4.1. 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 возмущения (узлов и пучностей). При наличии стоячей волны переноса энергии через углы нет, и в каждом участке между двумя узлами наблюдается лишь взаимопревращение кинетической и потенциальной энергии.

А.с. 337 712: 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.

А.с. 488 170: 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 комплектов, 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.

#### 5.4.2. Эффект Доплера-Физо.

Если регистрировать колебания в точке, расположенной на каком-либо расстоянии от источника колебаний и неподвижной относительно, 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, длина волны использована малая (микроволновый сигнал). Очевидно подобный прибор может быть использован и в других областях техники.

Патент США 3 555 899: Установка для ультразвукового измерения расхода жидкостей в трубопроводе. Имеется устройство для создания двух траекторий распространения ультразвука между противоположными боковыми стенками трубопровода и устройство, которое направляет эти траектории таким образом, что они располагаются в плоскости, проходящей через параллельно продольные прямые, и наклонены к обоим прямым под взаимно дополняющими углами. Установка имеет устройство, которое посылает ультразвуковые колебания в двух противоположных направлениях по каждой из двух траекторий. Расход определяется путем измерения скорости распространения колебаний по направлению потока и навстречу потоку и вычисления среднего значения разности между указанными различными скоростями. Распространение звуковых колебаний по одной траектории может быть обеспечено путем отражения ультразвуковых колебаний, идущих по другой траектории.

Патент США 3 564 488: Прибор для измерения скорости движущихся объектов, например, для измерения скорости движения тела по рельсам. По одному из рельсов пускаются ультразвуковые волны. В приборе имеется пьезоэлектрический преобразователь который служит для обнаружения доплеровской частоты в отраженном сигнале, исходящей от точки, расположенной вблизи места контакта движущегося тела с рельсом. Частота Доплера используется для измерения скорости движущегося по рельсам объекта.

#### 5.4.3. 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 электрического и магнитного 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 (линейнополяризованным) или изменяется с течением времени по определенному закону - (циркулярно или эллиптически поляризованной).

Поляризация может возникнуть вследствие отсутствия осевой симметрии в возбуждающей 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 волны в анизотропной среде.

А.с. 269 588: Способ определения стойкости стекла в спаях с металлом к электролизу, состоящий в том, что через термостатированный образец пропускается электрический ток, причем напряжение питающего источника остается постоянным, и измеряют величину тока, проходящего через образец, отличающийся тем, что с целью повышения точности наблюдений, о ходе процесса электролиза судят по измерению картины механических напряжений в местах спая с металлом, наблюдаемой в лучах поляризованного света.

А.с. 452 786: Способ магнитного контроля ферромагнитных материалов, заключающийся в том, что на поверхность 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.

А.с. 221 345: Способ контроля кристаллизации кондитерских масс, например, ирисной, в процессе производства путем микроскопирования исследуемого образца, отличающийся тем, с целью повышения точности контроля, микроскопирование осуществляют в проходящем поляризованном световом луче с измерением при этом интенсивности светового потока с последующим определением содержания кристаллов.

А.с. 249 025: Способ оценки распределения контактных нап-

ряжений 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.

5.4.4. Вобщем случае д и ф р а к ц и я - 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 не значительны. 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 большей длиной будут сильнее огибать препятствие.

Такое разделение волны используется в дифракционных спектрографах, где белый свет /совокупность волн различной длины/ располагается в спектр с помощью дифракционной решетки-системы частых полос.

В авторском свидетельстве N'249 468 изменение дифракционной картины при изменении размеров препятствий использовано для градуировки магнитного поля, под действием которого изменяются параметры ферромагнитной пленки с полосовой доменной структурой: Способ градуировки магнитного поля спомощью эталона, отличающийся тем, что с целью повышения точности и упрощения процесса градуировки эталон, в качестве которого использована тонкая ферромагнитная пленка с полосовой доменной структурой, на которую нанесен магнитный коллоид, намагничивают под определенным углом к направлению силовых линий градуируемого поля, освещают его светом и наблюдают диффрагировавший на эталоне луч света, затем увеличивают градуируемое поле по величине, при которой исчезает наблюдаемый луч, сопоставляют эту величину с известным значением поля переключения эталона.

А.с. 252 625: Способ определения статистических 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 полученной усредненной дифракционной картины с расчетной кар-

тиной определяют статические характеристики пленки.

#### 5.4.5. Интерференция волны.

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. Существует 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 градусов, то могут возникнуть стоячие волны.

А.с. 154 676: Способ определения абсолютного значения ускорения силы тяжести, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести, время падения измеряют путем подсчета количества временных периодических интервалов, задаваемых эталоном частоты, в период между моментами совпадения отрезков пути свободного падения с длиной трубчатого концевого эталона, сличаемых интерференционным методом в процессе свободного падения тела.

Патент США 3 796 493: Аппарат для измерения шага резьбы 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 градусов. Щупы смонтированы на направляющей, которая может перемещаться в любом направлении на каретке, в плоскости, параллельной плоскости движения каретки вдоль оси 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 уголкового отражателя и рефлектора. Измеренную величину сравнивают с эталонным шагом.

#### 5.4.6. Голография.

Явления интерференции и дифракции волн лежат в основе принципиально нового метода получения объемных изображений предметов - голографии.

Теоретические предпосылки голографии существовали давно / Д.Габор, 1948г./, 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 - результата наложения опорной когерентной волны и волн, дифрагированных на объекте. Для восстановления изображения голограмму освещают опорным пучком света, который дифрагируя на неоднородностях почернения фотоэмульсии, дает объемное изображение, обладающей полной иллюзией реального 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 голограммой контактным способом снять обращенную копию /негатив/, то изображение полученное от этой копии все равно останется позитивным.

Одно из фундаментальных открытий в области голографии принадлежит Ю.Н.Денисюку, осуществившему голографию в стоячих волнах. Открытие зарегистрировано под N'88 со следующей формулой:

"Установлено ранее неизвестное явление возникновения пространственного неискаженного цветного изображения объекта при отражении излучения от трехмерного элемента прозрачной материальной среды, в которой распределение плотности вещества соответствует распределению интенсивности поля стоячих волн, образующихся вокруг объекта при рассеянии на нем излучения".

Такие трехмерные голограммы на стадии восстановления необязательно 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 во столько раз, во сколько длина волны восстановления больше длины волны регистрации /голографический микроскоп/. С помощью голографии можно получать интерференционные картины от объектов, диффузно рассеивающих свет. Совмещая голографическое изображение с самим объектом и изучая интерференционную картину, можно зафиксировать самые незначительные деформации объек-



та.

А.с. 250 465: Способ определения чистоты обработки поверхности изделия...., отличающийся тем, что с целью повышения чувствительности способа, сначала получают голограмму контролируемого изделия, производят освещение поверхности изделия, накладываемое 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 и по соотношению этих интенсивностей определяют чистоту обработки поверхности.

США патент № 3 797 944: Испытание без разрушения пористых акустических панелей. В процессе испытания получают усредненную по времени голографическую фотографию перфорированно поверхности акустической панели, имеющей ячеистую структуру. При этом панель подвергается воздействию акустического излучения заданной интенсивности, частота которой равна частоте ячейки панели. Затем полученную фотографию просматривают, направляя через нее лазерный луч. Световые завихрения полученные на фотографии соответствуют хорошим ячейкам, тогда как темные участки соответствуют нерабочим или дефектным ячейкам. Если резонансная частота ячейки неизвестна, то ее можно определить получая изображение поверхности в реальном масштабе времени в отсутствие акустического возбуждения. Затем перфорированные листы просматривают через полученное изображение, подвергая перфорированную поверхность воздействию акустического излучения с медленно меняющейся частотой при постоянном уровне интенсивности и регулируя возникновение завихрений, соответствующих резонансу.

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 связанным с первым (ассоциативная память).

Существенно, что голографическое изображение можно получать не только с помощью электромагнитных, но и акустических волн. Когерентные ультразвуковые волны дают возможность освещать большие объекты. Следовательно можно получить трехмерное изображение внутренних частей объекта, например, человеческого тела, недр Земли, толщи океана.

США патент 3 585 848: Аппарат для записи акустических изображений и голограмм и метод их записи. Объект облучается акустическими волнами для создания поля акустических колебаний

в отражающей поверхности, в аппарате предусмотрено устройство разверстки бегущим лазерным пятном для сканирования поверхности коллимированным лучом света. Изменения отражаемой от поверхности компоненты луча обеспечивают генерацию выходного сигнала, изменения частоты которого соответствуют изменениям интенсивности акустических колебаний в плоскости поверхности объекта. Выходной сигнал гетеродинируется с опорным сигналом, частота которого выдерживается в заданном соотношении с частотой облучающих акустических волн, соответствующая 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 смещения 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 неразрешимые задачи.

5.4.7. Д и с п е р с и я в о л н - зависимость фазовой скорости гармонических волн в веществе от их частоты. Область частот в которой скорость убывает с увеличением частоты, называется областью н о р м а л ь н о й д и с п е р с и и, а область частот, в которой при увеличении частоты скорость также увеличивается, называется областью а н о м а л ь н о й д и с п е р с и и. Дисперсия волн наблюдается, например, при распространении радиоволн в ионосфере, волноводах.

При распространении световых волн в веществе также имеет место д и с п е р с и я с в е т а (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 результате дисперсии узкий параллельный пучок белого света, проходя через призму из стекла или другого прозрачного вещества уширяется и образует на экране, установленном за призмой радужную полосу, называемую дисперсионным спектром. Для световых волн единственной недиспергирующей средой является вакуум.

Патент США 3 586 120: Аппаратура передачи звука. Углы скандируемые 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 волны пропускаются 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 растяжения или сжатия.

А.с. 253 408: Устройство для измерения температуры, со-

держашее 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.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ.

6.1. В основе всех физических явлений лежит взаимодействие между телами или частицами, участвующими в этих явлениях. Представления современной физике всякое взаимодействие передается через некоторое поле. Электрические заряды взаимодействуют через электрическое поле, которое они создают, магниты и электрические токи - через магнитное поле. Механическое взаимодействие осуществляется через электромагнитные поля, создаваемые электронами вещества.

6.1.1 Взаимодействие заряженных тел или частиц в самом простейшем случае описывается законом Кулона. Известно, что разноименные заряды притягиваются, а одноименные отталкиваются.

А.с. 428 882: Способ соединения концов проводников, при котором осуществляют контактирование проводников, а затем сварку из концов, отличающийся тем, что с целью упрощения технологического процесса, контактирование концов проводников получают при помощи создания между ними электростатического поля от дополнительного источника постоянного напряжения, подключенного к проводникам.

Изменяя форму поверхности заряженных тел можно изменить конфигурацию образующихся полей. А это, в свою очередь, открывает возможность управлять силами, действующими на заряженные частицы (тела), помещенные в такое поле.

А.с. 446 315: Способ разделения диэлектрических волокон по диаметрам в неравномерном электрическом поле, отличающийся тем, что с целью повышения эффективности процесса, разделение производят при постоянном градиенте квадрата напряженности поля, увеличивающейся в сторону электрода, имеющего тот же знак, что и поверхностный заряд на .

6.2 При внесении незаряженного проводника в электрическое поле носители заряда приходят в движение. В результате у концов проводника возникают заряды противоположного знака, называемые индуцированными зарядами.

А.с. 518 839: Способ снятия потенциальной кривой коллектора электрической машины постоянного тока, заключающийся в перемещении элемента, обеспечивающего снятие электрического па-

раметра, вдоль окружности коллектора работающей электрической машины, отличающийся тем, что с целью расширения функциональных возможностей, повышения точности и надежности, перемещение элемента, например датчика, использующего явление электростатической 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 электрического экранирования и для получения сверхвысоких постоянных напряжений (генератор Ван-де Граафа).

6.3 при частичном введении диэлектрика между обкладками конденсатора наблюдается втягивание диэлектрика между обкладками.

А.с. 493 641: дозатор жидкости, содержащий герметичную емкость с регулятором уровня, выпускным сифоном и воздухоподводящей, отличающийся тем, что с целью повышения надежности и упрощения конструкции, в канале воздухопроводящей трубы установлен частично погруженный в жидкость диэлектрик многоэлектродный электрический конденсатор, обкладки которого в момент выдачи жидкости соединены с источником напряженности.

6.4 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. (заокн Джоуля - Ленца).

А.с. 553 233: 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.

6.5 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 отрицательных температурный коэффициент сопротивления. Меняется сопротивление и у неметаллов.

6.5.1. 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).

6.5.2. При приложении внешнего гидравлического 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.

6.5.3. Кроме того, на сопротивление металлов очень сильно влияет наличие примесей (или состав сплава), что используется для идентификации сплавов.

так например, при изменении количества примесей в стали от 0,1 до 1,1% ее удельное сопротивление изменяется от 10 до 30 10<sup>8</sup> (в минус восьмой степени) Ом.см.

Широко используются изобретателями и обычные изменения сопротивления объектов за счет изменения размеров или состава объекта.

А.с. 462 067: Способ измерения линейных размеров изделия из электропроводного материала, заключающегося в том, что на поверхность изделия направляют струю жидкости, по параметрам которой судят о размерах, отличающийся тем, что с целью расширения диапазона измерений, подают электропроводящую жидкость и измеряют электрическое сопротивление струи.

А.с. 511 233: 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 сопротивлений осуществляют в цепи подложка-седло шарика.

А.с. 520 539: 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 менялся.

6.6. 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 превышает некоторых критических пределов. В 1976 г. достигнуты следующие максимальные значения этих пара-

метров: критическая температура 23,4К, критическое поле 600 кЗ, плотность тока 11 в 11-ой степени а см<sup>2</sup>.

А.с. 240 844: Устройство для получения сверхсильных магнитных полей, представляющее собой охлажденный солиноид из несверхпроводящего материала, отличающийся тем, что с целью повышения напряженности магнитного поля, снижения себестоимости и потребления электроэнергии, снаружи солиноида расположен в кристалле с рабочим объемом вне криостата сверхпроводящий соленоид.

6.6.1. Если один из параметров поддерживать вблизи критического значения, то сверхпроводящая система может быть использована для очень точного определения небольших изменений измеряемой величины, например, вблизи критической температуры - 10 см./градус.

А.с. 525 886: 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.

6.7. Электрическое и магнитные поля тесно связаны между собой. В природе существует электромагнитное поле - чисто электрические и чисто магнитные поля являются лишь его частными случаями. Изменяющиеся электрические и магнитные поля индуцируют друг друга. (под изменением поля надо понимать не только изменение его интенсивности, но и движение поля как целого).

Патент США 3 825 910: Способ передачи магнитных доменов при помощи самовозбуждаемых управляемых полей. Устройство передачи магнитных доменов использует самовозбуждающее управляющее поле для перемещения магнитного домена в тонком магнитном слое из ферромагнитного материала. Слой управления перемещением доменов сформирован из тонкопроводящего материала. При подаче на управляющий слой электрического поля по соседству с магнитным слоем и в управляющем слое возникает равномерно распределенный электрический ток. Магнитный домен, расположенный в магнитном слое, изменяет плотность тока в управляющем слое и вырабатывает вблизи себя область токового возмущения. Ток возмущения, взаимодействуя с магнитным полем домена, обеспечивает выработку результирующего индуцированного управляющего магнитного поля. Скорость и направление распространения магнитного домена управляются путем изменения прикладываемого электрического поля или путем изменения тока возмущения в уп-

равляющем слое.

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 диапозоне СВЧ (например, эффект Фарадея).

Магнитное поле может быть создано постоянными магнитными, переменными электрическим полем и движущимися электрическими зарядами, в частности теми, которые движутся в проводнике, создавая электрический ток.

А.с. 553 707: Способ защиты человека от поражения электрическим током в сетях с напряжением до 1000 В. путем отключения сети при поступлении на исполнительные органы аварийного сигнала, вырабатываемого размещенными 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 фиксирует антенны служащие указанным датчиком.

А.с. 516 484: Способ автоматического регулирования положения электрода при сварке путем контроля физических возмущений в зоне сварки, отличающийся тем, что с целью повышения точности и обеспечения возможности регулирования при электрошлаковой сварке, вокруг контролируемого участка зоны сварки создают магнитопроводящий контур и о положении электрода при сварке судят по распределению магнитной индукции, наводимой сварочным током внутри этого контура.

6.7.1. Основной характеристикой электрического поля является напряженность, определяемая через силу, действующую на заряд. Основной характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции, также определяемый 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.

А.с. 491 517: Способ изменения подъемной силы крыла с постоянным углом атаки, например, судно 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.

Патент США 3 138 129: Гидродинамический электромагнитный движитель. Движительная система для удлиненного гидродинамического плавсредства содержит цилиндрическую оболочку из ферромагнитного материала; несколько параллельных магнитных полюсов, расположенных по периферии оболочки на одинаковом расстоянии один от другого; электромагнитные катушки надетые на удлиненные электроды, число которых равно числу полюсов. На судне установлен источник переменного тока. Управляющее устройство соединяет источник переменного тока с электродами и катушками электромагнита для попеременного создания северного и южного полюсов в катушках и получения пересекающихся электрического и магнитного полей в нужных фазах, для создания однонаправленного движения заряженных частиц вокруг плавсредства. Управляющее устройство включает приспособление для раздельного возбуждения электродов при управлении плавсредством.

6.7.2. 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.

А.с. 542 363: 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 направления 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.

А.с. 516 905: 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 упрощение 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 установ-



лен подпорный магнит, причем магниты в теле крыльчатки и подпорный магнит обращены к магнетрону разноименными полюсами.

6.8. Когда по проводнику, помещенному в магнитное поле, идет 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.

А.с. 269 645: Способ возбуждения акустических колебаний в токопроводящей жидкофазной среде, отличающийся тем, что с целью повышения эффективности процесса излучения, на среду накладывают постоянное магнитное поле и одновременно пропускают через нее переменный электрический ток.

А.с. 444 653: Способ уплотнения бетонной смеси, заключающийся во взаимодействии на уложеную в форму смесь, колебаниями, отличающийся тем, что с целью повышения эффективности процесса, в форме вызывают импульсные деформации создаваемые взаимодействием кратковременных мощных электромагнитных полей, одно из которых генерируется индуктором, а другое создается импульсным током.

А.с. 286 318: Способ контроля и дефектоскопии однотипных изделий, имеющих открытые дефекты, например в виде пустот или инородных включений, отличающийся тем, что с целью упрощения процесса контроля изделие помещают в ванну с электропроводной жидкостью, пропускают через нее электрический ток, а затем воздействуют на жидкость магнитным полем для изменения ее кажущейся плотности до достижения безразличного положения в ней исправных изделий, и наличия 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.

А.с. 549 732: 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 материала 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.

6.8.1. Взаимодействие двух проводников, по которым текут электрические токи, осуществляется через магнитное поле. Каж-

дый 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).

6.9. 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 прохождении снаряда над постоянным магнитом, в считывающей катушке, намотанной на магните, наводятся импульсы напряжения, которые после прохождения через усилитель подводятся к осциллографу или хронографу для обеспечения отсчета.

А.с. 279 117: Термостат содержащий теплоизолированную камеру, магнит и нагреватель, отличающийся тем, что с целью упрощения конструкции и повышения надежности, в нем нагреватель выполнен из ферромагнитного материала, установлен на валу электродвигателя и расположен в поле магнита.

Это явление наблюдается и в том случае, когда перемещения проводника не происходит, а магнитное поле меняется во времени. Если контур проводящий ЭДС индукции вызывает в нем индукционный ток, если непроводящий (например, условно проведенный в воздухе), то возникает лишь ЭДС.

6.9.1. 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.

6.9.2. Переменный магнитный поток может вызываться переменным током самого контура. В этом случае в контуре также появляется ЭДС - она называется ЭДС самоиндукции.

6.10. Если в изменяющемся магнитном поле перпендикулярно к его силовым линиям поместить металлическую (не ферромагнитную) пластинку, в ней начнут протекать круговые индукционные токи.

А.с. 513 237: Способ магнитошумовой 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.

6.10.1. 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.

А.с. 235 778: Устройство для оттаивания снеговой шубы испарителя, например, домашних холодильников, содержащее понижающий трансформатор, первичная обмотка которого включена в электрическую цепь переменного тока, отличающийся 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.

6.10.2. Вихревые токи в пластинке создают магнитное поле. Это поле действует в соответствии с правилом Лоренца навстречу полю возбуждения. Это значит, что пластинка будет выталкиваться из поля.

А.с. 434 703: Способ ориентации немагнитных токопроводящих 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 смещенной 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, основной на этом эффекте не имеет трения покоя.

А.с. 497 069: Способ торможения проката на холодильниках

сортовых прокатных станков, отличающийся тем, что с целью увеличения производительности холодильников торможение проката происходит бегущим полем, создаваемым электромагнитами, встроенными в приемный желоб холодильника.

6.10.3. 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 величине "кожице" металла.

Выталкивание магнитного поля из сверхпроводника называется эффектом Мейснера.

Этот эффект используется для создания магнитных экранов, позволяющих получить магнитный вакуум до  $10^{-8}$  в минус восьмой степени эрстед. Им объясняется интересное явление - парение постоянного магнита над чашей из сверхпроводящего материала.

6.10.4. 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. Но магнитная проницаемость диамагнитных материалов и сверхпроводников меньше единицы. Это дает возможность осуществлять с этими веществами стабильную повеску. Любое перемещение подвешенного тела приводит к появлению вихревых токов, энергии которых достаточно, чтобы удерживать подвешенное тело.

Триумф индукционных токов - беличья клетка ротора асинхронного двигателя работают индукционные насосы для перекачивания жидких металлов в металлургии и ядерной энергетике.

6.10.5. 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  $10^8$  в седьмой степени Гц для хорошего неферромагнитного проводника толщина слоя приблизительно 0,01 см. На этом основан метод поверхностной закалки.

А.с. 281 997: 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 магнитного 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.

А.с. 451 888: Способ очистки трубопроводов преимущественно от отложений гидратов путем их нагрева, отличающийся тем, что с целью повышения эффективности нагрева осуществляется сверхвысокочастотными электромагнитными волнами, которые направляют в трубопровод.

## 6.11. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ.

6.11.1. Электрический заряд движущийся в пустоте равномерно относительно инерционной 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, сообщающая ему ускорение.

А.с. 511 484: 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 в отдачу внешней работы осуществляют путем торможения заряженных частиц в электрическом поле.

6.11.2. 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, определенной 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 разработана до предела - 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 направления частиц, определения заряда и т.п. На использовании эффекта Вавилова-Черенкова возможно создание миллиметровых и более коротких радиоволн; черенковское излучение позволяет создать стандартный источник света, необходимый при биологических и астрономических исследованиях.

А.с. 182 249: Устройство для измерения эффективной массы частиц, распадающихся на гамма-кванты и электроны, отличающееся

тем, что целью увеличения точности измерения и ускорения набора экспериментальных данных, оно содержит двухканальную систему совместно работающих искровых камер и черенковских спектрометров полного поглощения, установленных так, что в направлении вылета каждой из двух частиц распада, стоит блок из искровых камер и черенковского гамма-спектрометра, а оси блоков расположены симметрично относительно направления первичной частицы и составляют собой угол равный минимальному углу двухчастичного распада.

А.с. 431 887: Способ исследования прожигаемости гематоофтальмического барьера путем введения в кровяное русло вещества, содержащего радиоактивный изотоп и одновременно регистрации интенсивности бетаизлучений над поверхностью роговицы глаза, отличающийся тем, что с целью повышения точности исследования дополнительно регистрируют изменения интенсивности черенковского излучения.

6.11.3. Другой пример - так называемое бетатронное (или синхронное)излучение. В этих приборах заряженные частицы движутся по круговым орбитам. При энергиях порядка десятков 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 и антенн.

## ЛИТЕРАТУРА

- Г.Е.Зильберман. Электричество и магнетизм.М."Наука" 1970.  
К 6.1. А.с. 410 316; пат. США 3556998,3562757.  
К 6.2. А.с. 240 505  
К 6.4. А.с. 498 770  
К 6.4. Физический энциклопедический словарь, т.5 стр.449.  
К 6.5. Таблицы физических величин.М., "Атомиздат",1976, стр.304-308.  
К 6.7. А.с. 490 661,490 662,492 155  
К 6.8. А.с. 491 174,515 684,514 632,465 345  
К 6.10 А.Л.Дорофеев, Визревые токи,М."Энергия",1977  
А.с. 422 982  
К 6.11.2. Дж.Делли. Черенковское излучение и его применение; М., "ИЛ".1960.  
Б.М.Болотовский, Свечение Вавилова-Черенкова. М."Наука" 1964.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА. ДИЭЛЕКТРИКИ.

7.1.1. Диэлектриками являются неионизованные газы, а также жидкости и твердые тела, характеризующиеся полностью заполненной электронами валентной зоной и полностью электронной на

уровне зоны проводимости не происходит, то такие вещества ведут себя как изоляторы. При наличии такого возбуждения (в случае малой энергетической щели между зонами) вещества являются полупроводниками. Диэлектрики и полупроводники экспоненциально уменьшают его по своему объемному сопротивлению при повышении температуры.

А.с. 515 075: Способ определения обрыва жилы кабеля с изоляцией, сопротивление которой зависит от температуры. Зависит от температуры, например, жаростойкого кабеля с магнетитовой изоляцией, при котором воздействуют сигналом, выявляющим повреждения, на последовательные участки кабеля а о месте повреждения кабеля в момент подачи сигнала на дефектное место, отличающееся тем что, с целью упрощения отыскания места об, на кабель воздействуют тепловым сигналом, например теплом от газовой воздушной горелки, а о месте повреждения судят по изменению сопротивления изоляции кабеля.

7.1.2. Если материал претерпевает те или иные превращения, его сопротивление электрическому току меняется.

А.с. N 414528: Способ определения относительной связанной поверхности волокон в листе бумаги путем измерения электросопротивления, отличающийся тем, что, с целью повышения точности и упрощения методики измерений, образец бумаги подвергают линейному деформированию в продольном направлении расположения волокон с одновременной регистрацией электросопротивления, после чего определяют отношение разности измерения электросопротивлений после и до деформирования образца бумаги.

Расплавы некоторых диэлектриков - проводники, в частности, хорошо пропускает ток расплавленное стекло.

7.1.3. В диэлектрике, помещенном в переменное электромагнитное поле, часть энергии поля переходит в тепловую. Эта доля пропорциональна тангенсу угла диэлектрических потерь ( $\tan \delta$ ).

Патент Австралии N 420764: Способ термического сращивания материалов. Предлагается усовершенствованный метод сращивания посредством диэлектрического нагрева термопластичных материалов, имеющих малые коэффициенты диэлектрических потерь (пропилен, полипропилен и др.). При этом между наложенными друг на друга краями соединяемых внахлестку листов материала закладывается вставка, эффективно выделяющая тепло при воздействии электрического поля ВЧ, которое создается между электродами прижимающими срачиваемый участок. Тепло выделяющие вставки, имеющие форму прутка или квадратных пластинок, изготавливаются из газоренированных полимеров (например полимеры и сополимеры хлористого винила) и располагается вдоль соединяемых краев листов. 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 основаны именно на этом эффекте.

A.N 527407. Способ изготовления бетонополимерных изделий заключающийся в сушке бетонных элементов с вакуумированием, пропитке под давлением и последующей термокаталитической полимеризации, о т л и ч а ю щ и й тем , что, с целью равномерного прогрева изделия и сохранения продолжительности процесса термокаталитическую полимеризацию осуществляют или дополнительном воздействии электрического поля ВЧ в диапазоне 1-150 мгц

7.2. Д и э л е к т р и ч е с к а я п р о н и ц а е - м о с т ь диэлектриков зависит от многих факторов . По ее изменению можно контролировать ход различных процессов в диэлектриках.

A.C N Способ контроля глубины полимеризации синтетических каучуков в процессе их растворной полимеризации, о т л и ч а ю щ е й с я тем, что, с целью обеспечения непрерывности контроля и упрощения методики анализа, измеряют диэлектрическую проницаемость раствора полимера и со степени изменения диэлектрической проницаемости о глубине полимеризаций продукта

A.C.N 497520: Способ определения времени пропитки пористых материалов, заключающийся в погружении контролируемого образца торцом в контрольную жидкость и отсчета времени пропитки о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью повышения точности, образец материала помещают в датчик измерительной аппаратуры, например между обкладками конденсаторов, а время пропитки отсчитывают от момента начала до момента прекращения изменения электрических свойств образца.

7.2.1. Диэлектрические свойства вещества зависят от частоты. Один и тот же материал при воздействии на него поля низкой частоты - диэлектрик, поля высокой частоты - к.

При I мы имеем дело с диэлектриком, а при I - с проводником. ( - удельная электрическая проницаемость - круговая частота.

7.3. П р о б о й д и э л е к т р и к о в. носит либо тепловой, либо электрический - лавинный - характер. Механизм теплового пробоя - постепенный разогрев участка диэлектрика, падение его сопротивления и термическое разрушение материала.

A.C.N 218805: Способ электрораскроя материала, например, ткани, с помощью электрода, выполненного по форме выкройки отличающийся тем, что, с целью ускорения технологического процесса раскроя повышения точности раскроя и сокращения отходов



материала, раскрой производят расщиплением материала на ионы током высокого напряжения например 10 кв, проходящим через раскраиваемый материал между неподвижным электродом и другим электродом по линии электропроводной схемы, перемещаемым по другую сторону раскраиваемого материала.

#### 7.4. Электромеханические эффекты в диэлектриках.

7.4.1. Общим электромеханическим эффектом для всех диэлектриков является **электрострикция**. Она появляется в упругом (обратимом) превращении энергии тела в электрическое поле и для свободного тела сопровождается увеличением его размеров.

#### 7.4.2. Пьезоэлектрический эффект.

(пьезоэффект) - это также электромеханический эффект, однако он наблюдается не во всех диэлектриках, а только в нецентросимметричных кристаллах. Причем, в отличии 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 "блища" вообще не понадобится: всю необходимую для лампы энергию даст механический удар по кристаллу.

Патент ФРГ N.1218216: Пьезоэлектрическое устройство для зажигания с кулачковым приводом, предназначенное для двигателей внутреннего сгорания, отличающееся тем, что кулачковый привод постоянно имеет кинетическое соединение, и периодически-динамическое соединение с известным пружинным аккумулятором и взаимодействует с ним. Пружинный аккумулятор соединен с подвижным концом пьезоэлектрического элемента.

7.4.3. Обратный пьезоэффект аналогичен эффекту электрострикции однако, если при электрострикции деформации тела не зависит от знака электрического поля, для пьезоэффекта такая зависимость имеет место. Практически можно считать, что пьезоэффект отличен, а электрострикция является квадратичным эффектом.

Патент США N 3239283. Предлагается конструкция подшипника в котором трение уничтожается вибрацией. Втулки подшипника выполняются из пьезоэлектрического материала и с обеих сторон покрываются тонкой электропроводной фольгой. К фольге припаи-

ваются тонкие электроды, по которым проводится переменный ток. А ток заставляет пьезоэлектрик сжиматься и раздаваться, создавая вибрацию, уничтожающую трение.

В некоторых случаях используются одновременно и прямой и обратный пьезоэффект, например, в пьезоэлектрических трансформаторах.

7.5. 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 - п и р о э л е к т р и к и. 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 в минус 6-ой градуса.

AN.288356: 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 пирозлектрический кристалл является одновременно и пьезоэлектриком. Поэтому неоднократное изменение температуры кристалла вызывает деформацию, а последняя породит "вторичную" поляризацию пьезоэлектрического происхождения, налагающуюся на "первичную" пирозлектрическую поляризацию.

7.5.1. В пирозлектрических кристаллах может наблюдаться э л е к т р о к а л о р и ч е с к и й э ф ф е к т - изменение температуры пирозлектрика, вызванное изменением величины электрического поля (например, при внесении пирозлектрика в электрическое поле).

7.5.2. С е г н е т о э л е к т р и к и - частный случай пирозлектриков.

A.C.N 276449: 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.

7.5.3. В сегнетоэлектриках также самопроизвольно возникает поляризация, но только в некотором интервале температур. Тем-

пература, 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 (сравнение с эффектами Гопкинса и Бархгаузена). Выше температуры Кюри сегнетоэлектрик переходит в паразеллектрическое состояние.

А.С.№ 238185: Устройство для измерения расхода, скорости потока жидкости или газа, содержащее термочувствительный датчик с нагревательным элементом и схему измерения температуры, отличающуюся 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, интересными электрооптическими свойствами.

А.С.№ 262405: 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 сегнето-электриков моноклинной системы, у которых пьезоэффекты по взаимно перпендикулярным направлениям различны а зоны Френеля нанесены на поверхность пластины в виде чередующихся отражающих и неотражающихся покрытий в форме эллипсов, главные оси которых ориентированы вдоль направления пьезоэффектов пластины.

7.5.4. Кроме сегнетоэлектриков, которые можно рассматривать как совокупность параллельно ориентированных диполей, есть вещества с антипараллельным расположением диполей. Их называют антисегнетоэлектриками.

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 паразеллектрическое.

7.5.5. 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.

7.5.6. Сегнетоэлектрические и ферромагнитные точки Кюри у таких веществ не совпадают. Но в сегнетоэлектрической точке Кюри наблюдается аномалия магнитных свойств, а в магнитной - аномалия диэлектрических. Кроме того, при наложении магнитного (электрического) поля наблюдается изменение электрической (магнитной) проницаемости - магнитоэлектрический эффект.

7.6. Влияние электрического поля и механических напряжений на сегнетоэлектрический эффект

7.6.1. 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 напряжения.

A.N 415617: 1 Способ измерения напряженности электрического поля путем изменения диэлектрической проницаемости сегнетоконденсатора, помещенное в исследуемое поле, отличающееся тем, что с целью повышения доводят до точки Кюри, стабилизируют ее вблизи этой точки, периодически деформируя 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 деформацию тела сегнетоконденсатора производят при помощи знакопеременного электрического поля.

- В водородосодержащих сегнетоэлектриках наложение гидростатического давления повышает температуру Кюри.

7.6.2. если в сегнетоэлектрике наблюдаются низкотемпературные переходы, на кривых температурных зависимостей диэлектрических свойств обычно наблюдаются аномалии, соответствующие этим переходам. Антисегнетоэлектрический фазовый переход сопровождается аномалией теплоемкости ирконата свинца (-400 ккал/моль); может наблюдаться аномальное изменение объема

и коэффициента теплового расширения.

7.6.3. При нагреве сегнетоэлектрического кристалла происходит уменьшение спонтанной поляризации, что эквивалентно появлению пироэлектрического заряда на поверхности кристалла.

Патент Великобритании N 1335955: Электрическое измерение давления Датчик давления состоит из тела, выполненного из пироэлектрического вещества, диэлектрическая постоянная которого зависит приложенного давления, при этом температура измерительного тела стабилизируется подачей переменного напряжения на пироэлектрический элемент, имеющий тепловую связь с измерительным телом.

Новый тип сегнетоэлектрического полинейного элемента тактандел-температурно автостабилизированный диэлектрический нелинейный элемент сам стабилизирует свою температуру вблизи точки Кюри.

На возрастание электросопротивления в области температуры Кюри основаны сегнетоэлектрические термосопротивления с продолжительным температурным коэффициентом (ТКС- +60%/градус) -позисторы.

7.7. Э л е к т р е т ы - электрические аналоги поэтапных магнитов Они длительно сохраняют наэлектризованное состояние и создают вокруг себя электрическое поле. Электреты получают либо охлаждением нагретого диэлектрика (воска, церезина, нейлона ит.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.

А.С. N 115132 Индивидуальный дозиметр радиоактивного излучения и другого проникающего излучения, состоящий из приемника излучения и измерительного прибора, отличающийся тем, что с целью 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.

## Л И Т Е Р А Т У Р А.

Е.С. Кухаркин. Основы инженерной электрофизики, т1, 2.м., Высшая школа 1989г.

Е.Е. Зибельман. Электричество и магнетизм. М., "Наука", 1970г.

К 7.1. Таблицы физических величин. М., "Атомиздат", 1976,

стр.320

Патент Франции 2005067

К 7.2 Патент США 3586971.

К 7.4. В.В.Лаврженко. Пьезоэлектрические трансформаторы.

М., Энергия.,1975,

А.С.517790, 504940;

Патент США 3557616, 3558795

К 7.5. Г.А.Смоленский, Н.Н. Крайник. Сегнетоэлектрики и

антисегнетоэлектрики М., "Наука", 1968.

Физический энциклопедический словарь т4,стр.11-12.

## **МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА.**

8.1. 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.

8.1.1. Молекулы д и а м а г н е т и к а 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 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 напряжение 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.

8.1.2. Молекулы (или атомы) парамагнетика имеют собственные магнитные моменты, которые под действием внешних полей ориентируются по полю и тем самым создают результирующее 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.

А.с. 550 572: Способ структуроскопии ферромагнитных изделий, заключающийся в том, что контролируемое изделие подвергают взаимодействию с электроиндуктивным преобразователем магнитной проницаемости в электрические сигналы, по которым судят о результатах контроля, отличающийся тем, что с целью повышения достоверности определения усталостных изменений в структуре материала изделия, поверхность последнего сканируют преобразователем по заданной функции относительно места концентрации механических напряжений, регистрируют экстремумы относительного значения магнитной проницаемости и по их распределению судят об усталостных изменениях в структуре материала.

А.с. 438 922: Способ неразрушающего контроля физико-химических процессов в структурированных упруго-вязкопластичных системах, основанный на изменении магнитной восприимчивости, отличающийся тем, что с целью повышения точности определения нормальной плотности водных растворов вязжущих веществ, изменяют во времени изменения удельной магнитной восприимчивости и по максимальному значению ее судят о готовности продукта.

Существует ряд веществ, в которых квантовые эффекты межатомных взаимодействий приводят к появлению специфических магнитных свойств.

8.1.3. Наиболее интересное свойство - ферромагнетизм. Оно характерно для группы веществ в твердом кристаллическом состоянии (ферромагнетиков), характеризующихся параллельной ориентацией магнитных моментов атомных носителей магнетизма.

Параллельная ориентация магнитных моментов существует в довольно больших участках вещества - доменах. Суммарные магнитные моменты отдельных доменов имеют очень большую величину, однако сами домены обычно ориентированы в веществе хаотично. При наложении магнитного поля происходит ориентация доменов, что приводит к возникновению суммарного магнитного момента у всего объема ферромагнетика, и, как следствие, к его намагничиванию.

А.с. 540 299: Постоянный магнит, содержащий одноименные частицы, отличающийся тем, что с целью повышения коэрцитивной силы, в качестве доменов использованы отрезки литого микропровода в стеклянной изоляции, каждый из которых содержит один микрокристалл.

Естественно, что ферромагнетики, как и парамагнетики, перемещаются в ту точку поля, где напряженность максимальная (втягиваются в магнитное поле). Из-за большой величины магнитной проницаемости сила, действующая на них, гораздо больше.

А.с. 512 224: 1- Способ склеивания ферромагнитных материалов, включающий операцию нанесения клея на склеиваемые поверхности, соединение поверхностей, полного отверждения клея, отличающийся тем, что с целью уничтожения прочности склеивания, в период открытой выдержки отдельно проводят обработку каждой из двух склеиваемых поверхностей с нанесенным на них слоя 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.

А.с. 185 003: 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.

8.1.3.1. Существование доменов в ферромагнетиках возможны 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: Термолюминисцентный дозиметр, содержащий дозиметрический элемент, заключенный в герметизированную прозрачную камеру и снабженный носителем люминисцентного материала, нагреваемый индукционным путем, отличающийся тем, что носитель содержит ферромагнитный материал, точка Кюри которого, характеризующие фазовый переход второго рода, соответствуют определенной максимальной температуре.

Диапазон температур Кюри для ферромагнетиков очень широк: у радиолиния температура Кюри 20 С, для чистого железа - 1043 К. Практически всегда можно подобрать вещество с нужной температурой Кюри.



А.с. 266 029: 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 выполненного из терморезистивного материала, имеющего характеристику магнитной проницаемости с точкой Кюри, соответствующей заданной температуре, а корпус и ротор изготовлены из материала сточкой 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.

8.1.4. 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.

8.1.4.1. Для антиферромагнетиков также существует температура, при которой антипараллельная ориентация спинов исчезает. Эта температура называется антиферромагнитной точкой Кюри или точкой Нееля.

У некоторых ферромагнетиков (эрбин, диоброзин, 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.

8.1.5. 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.

А.с. 467 314: 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.

А.с. 515 169: 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.

8.1.6. Ферромагнетизм - (или антиферромагнетизм некомпенсированный) совокупность магнитных свойств веществ (ферромагнетиков) в твердом состоянии, обусловленных наличием внутри тела межэлектронного обменного взаимодействия, стремящегося создать антипараллельную ориентацию 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 ферромагнетика, но температурная зависимость свойств имеет иной вид: иногда существует точка компенсации суммарного магнитного момента при температуре ниже точки Нееля. По электрическим свойствам ферромагнетик и э л е к т р и к и или полупроводники.

8.1.7. Суперпарамагнетизм - квазипарамагнитное поведение систем состоящих совокупности экстремально малых ферро или ферромагнитных частиц. Частицы этих веществ при определенно малых размерах переходят в однодоменное состояние с однородной самопроизвольной намагниченностью по всему объему частицы. Совокупность таких веществ ведет себя по отношению к воздействию внешнего магнитного поля и температуры подобно парамагнитному газу (сплавы меди с кобальтом, тонкие порошки никеля и т.д.)

Очень малые частицы антиферромагнетиков также обладают особыми свойствами, похожими на суперпарамагнетизм, поскольку в них происходит нарушение полной компенсации магнитных моментов. Аналогичными свойствами обладают и тонкие ферромагнитные пленки.

Супермагнетизм применяется в тонких структурных исследованиях, в методах неразрушающего определения размеров, форм, количества и состава магнитной фазы и т.п.

8.1.8. Пьезомагнетики - вещества, у которых при наложении упругих напряжений возникает спонтанный магнитный эффект, пропорциональный первой степени величины напряжений. Этот эффект весьма мал и легче всего его обнаружить в антиферромагнетиках.

8.1.9. Магнитоэлектрики - вещества, у которых при помещении их в электрическое поле возникает магнитный момент, пропорциональный значению поля.

8.2. Магнитокалорический эффект - 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.

8.3. Изменение размеров тела, вызванное изменениями его намагниченности, называют - магнитострикцией (объемной или линейной). Величина эффекта для объемной магнитострикции  $-3 \cdot 10^{-5}$  в минус пятой степени, а для линейной -  $10^{-4}$  в минус четвертой степени.

А.с. 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, фиксирующей 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 соотношения в сплаве и от температуры.

Необычное применение эффекта для нагрева:

А.с. 550 771: Установка для индукционного нагрева текучих сред содержащая массивный сердечник с продольными каналами для прохождения среды и обхватывающее его коаксиально установленные изоляционную трубку и индуктор, подключенный к источнику переменного тока, отличающаяся тем, что с целью интенсификации нагрева путем информации кристаллической решетки материала сердечника, а индуктор дополнительно подключен к источнику постоянного тока.

8.3.1. Т е р м о с т р и к ц и я - магнитострикционная деформация ферро и антиферромагнитных тел при нагревании их в отсутствие магнитного тела. Эта деформация сопутствует изменению самопроизвольной намагниченности с нагревом. Она особенно велика вблизи точек Кюри и Нееля, т.к. здесь особенно сильно изменяется намагниченность.

Наложение термострикции на обычное тепловое расширение приводит к аномалии в ходе теплового расширения. В некоторых ферромагнитах и антиферромагнитах эти аномалии очень велики.

8.4. Магнитоэлектрический эффект - явление намагничивания ряда веществ в антиферромагнитном состоянии электрическим полем и их электрически 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 веществ без сложных нейтронографических последствий и применяется в волноводных устройствах СВЧ.

8.5. В основе гиромантных или магнитомеханических явлений лежит вращение электрона вокруг ядра. Суть этих явлений заключается в том, что намагничение магнетика приводят к его вращению (Эффект Эйнштейна и де Хааса), и наоборот вращение магнетика вызывает его намагничивание.

Патент США 3 322 364: Способ компенсации влияния гиромантного эффекта при угловом перемещении магнитометров результирующего поля, находящегося на самолете, и прибор для его осуществления обеспечивает компенсацию влияния гиромантного эффекта на магнитометр результирующего поля который имеет отсчитывающую обмотку. Гиромантный 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.

8.6. Магнитоэластические эффекты - (магнитоупругие взаимодействия) в ферритах-гранатах возникают в результате взаимодействия между спинами магнитных ионов и упругими колебаниями решетки, т.е. в результате тех же взаимодействий, что и магнитоstrictionные эффекты.

А.с. 528 497: 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.

А.с. 482 634: Способ измерения частоты механических колебаний объекта основанный на совпадении составляющей вибрации с частотой собственных колебаний одного из несколько 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 изменяется пилообразным током, и по величине тока в момент резонанса определяют частоту механических колебаний объекта.

8.7. Ферромагнитный резонанс - электронный магнитный резонанс в ферромагнетиках - совокупность явлений, связанных с избирательным поглощением ферромагнетиками энергии электромагнитного поля при частотах совпадающих с собственными частотами процессии магнитных моментов электронной системы во внутреннем эффективном магнитном поле. (Поглощение на несколько порядков больше, чем в ВПР).

А.с. 284 161: 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 постоянным током, возвращают его в режим феррорезонанса, изменяя постоянный ток, и по величине постоянного тока судят о мгновенном значении измеряемого параметра.

8.8. Вблизи точек Кюри и Нееля у магнетиков наблюдается 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.

А.с. 425 142: 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 и отсутствия магнитного поля.

Близкие эффекты наблюдаются и в антиферромагнетиках.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

Г.С.Кринчик, Физика магнитных явлений. М., изд-во МГУ 1976.

К 8.1. "Наука и жизнь", №4 стр.44

Физический энциклопедический словарь, т.5, стр.83, 305-309.

А.с.515021, 239633, 449292, 426183, 504103,466574,

Патент США 3797224.

К 8.3. А.с.541530, 541561.

## КОНТАКТНЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭМИССИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ.

9.1. При контакте двух разных металлов один из них заряжается положительно, другой - отрицательно и между ними возникает разность потенциалов, называемая к о н т а к т н о й. Она не очень мала - от десятых долей вольта до нескольких вольт и

зависит только от химического состава и температуры контактирующих тел "(Закон Вольта)"

А.С.№ 508550: Способ контроля качества спекания агломерационной шихты путем изменения электрических характеристик спекаемого материала, отличающийся тем, что с целью повышения быстродействия непрерывности контроля качества, исключения влияния влажности исходной шихты, измеряют абсолютное значение электрического напряжения (ЭДС) между корпусом спекаемого агрегата и спеченным материалом и сравнивают эту величину с абсолютной величиной электрического напряжения (ЭДС), полученной при спекании материала с эталонными характеристиками.

А.С.№ 255620 Способ определения усталостной прочности металла заключающийся в том, что образец из исследуемого металла нагружает его до разрушения и по числу циклов нагружения до разрушения судят об усталостной прочности металла, отличающ с целью определения накопления усталостных повреждений в металле также в процессе его нагружения; измеряют величину работы выхода электрона с его поверхности например, методом контактной разности потенциалов, по которой судят о накоплении усталостных повреждений в металле.

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 не только твердыми, но и жидкими.

9.1.1 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 в других подобных случаях.

А.С.№ 224151 Способ испытания органических жидкостей на электролизацию 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 коатулятор. 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 поразному: на фторопласте положительно, на оргстекле отрицательно. Потом рукава сходятся в общую камеру, где размноженные частицы антрацита притягиваются и падают.

9.1.2. При контакте металла с проводником наблюдается вентильный эффект. Контактный слой на границе металла и полупроводника обладает односторонней проводимостью, что используется, например, для выпрямления переменного тока в точечных диодах. При соприкосновении проводников разных типов проводимости образуется р-п переход, также обладающий вентильными свойствами. Это явление используется во многих типах полупроводниковых приборов.

9.2. В металлах полупроводниках процессы переноса зарядов (электрический ток) и энергии взаимосвязаны, так как осуществляются посредством перемещения подвижных носителей тока - электронов проводимости и дырок. Эта взаимосвязь обуславливает ряд явлений (Зеебека, Пельтье, и Томсона), которые называют термоэлектрическими явлениями.

9.2.1. Эффект Зеебека состоит в том, что в замкнутой электрической цепи из разнородных металлов возникает термоэ.д.с. если места контактов поддерживаются при разных температурах. Эта ЭДС зависит только от температуры и от природы материалов, составляющих термоэлемент. Термо э.д.с. для пар металлов может достигать 50 мкВ/градус; в случае полупроводниковых материалов величина термо э д с выше (10 во 2-ой + 10 в 3-ей мкВ/градус).

А.С. N 263969: Электротермический способ дефектоскопии заключающийся в том, что контролируемую зону нагревают пропускаемая через нее в течение определенного времени постоянный по величине электрический ток, измеряют при помощи термопары-датчика температуры ее нагрева и судят о наличии дефекта по отклонению этой температуры от температуры нагрева бездефектной зоны сварного соединения, 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 графике 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 термо э.д.с. в такой системе будет равна термоэдс исходного элемента.

А.С. N 531042: Термопара, содержащая защитный чехол, термоэлектроды с электрической изоляцией, рабочие концы которых снабжены токопроводящей перемычкой, образующей измерительный спай, отличающийся тем, что с целью увеличения срока службы термопары в условиях повышенной вибрации и больших ско-

ростей нагрева, измерительный спай термопары выполнен в виде слоя порошкообразного металла, расположенного на дне защитного чехла.

При измерении физического состояния веществ, участвующих в контакте изменяется и величина термо э.д.с.

А.С.№ 423024:Способ распознавания систем с ограниченной и неограниченной взаимной растворимостью компонентов по температурной зависимости термо э.д.с.,отличающейся тем, что с целью повышения надежности распознавания измеряют термо э.д.с. контакта двух исследуемых образцов

Между металлом, сжатым всесторонним давлением, и тем же металлом, находящемся при нормальном давлении тоже возникает термо э.д.с.

Например, для железа при температуре 100 градусов С и давлении 12 кбар, 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

9.2.2 Эффект Пельтье обратен эффекту Зеебека.

При прохождении тока через спай различных металлов кроме джоулевого тепла дополнительно выделяется или поглощается, в зависимости от направления тока, некоторое количество теплоты (спай сурьма-висмут при 20 градусах С - 10,7 мкал/Кулон). При этом количество теплоты пропорционально первой степени тока.

Патент США № 3757151: Для увеличения отношения сигнал шум ФЭУ предлагается способ охлаждения фотокатодов термоэлектрическими элементами, расположенными внутри вакуумной оболочки ФЭУ.

Заявка ФРГ № 1297902: Холодильник устройства для отбора газа, в котором отвод конденсата составляет одно целое с холодильником. На внутренней стороне полого конуса закреплены холодные спаи элементов Пельтье и от него ответвляется трубопровод для отбора измерительного газа. Холодильник, отличается тем, что в качестве генератора тока, потребляемыми элементами Пельтье, предусмотрена батарея термоэлементов, горячие спаи которых находятся в канале дымовых газов, а холодные спаи - во внешнем пространстве.

9.2.3. Явлением Томсона называют выделение или поглощение теплоты, избыточной над джоулевой, при прохождении тока по неравномерно нагретому однородному проводнику или полупроводнику.

9.3. При контакте тел с вакуумом или газами наблюдается электронная эмиссия - выпускание электронов телами под влиянием внешних воздействий: нагревания (теплоэлектронная эмиссия) потока фотонов (фотоэмиссия), потока электронов (вторичная эмиссия), потока ионов, сильного электрического поля (автоэлект-



ронная или холодная эмиссия), механических или других "портящих структуру" воздействий (акзоэлектронная эмиссия)

Во всех видах эмиссий, кроме автоэлектронной, роль внешних воздействий сводится к увеличению энергии части электронов или отдельных электронов тела до значения, позволяющего им преодолеть потенциальный порог на границе тела с последующим выходом в вакуум или другую среду.

А.С. N 226040: Способ контроля глубины нарушенного поверхностного слоя полупроводниковых пластин, отличающихся тем, что с целью обеспечения возможности автоматизации и упрощения процесса контроля, пластину нагревают до температуры, соответствующей максимуму э к з о э л е к т р о н н о й э м и с с и , которую контролируют одним из известных способов, а по положению пика эмиссии определяют глубину нарушенного слоя.

А.С. N 513460: Э л е к т р о н н а я т у р б и н а , содержащая помещенные в вакуумный баллон катод и анод и размещенный между ними ротор с лопастями, отличающийся тем, что с целью увеличения крутящегося момента на валу турбины ее ротор выполнен в виде набора соосных цилиндров с лопастями, между цилиндрами роторов установлены неподвижные направляющие лопатки имеют покрытие, обеспечивающее вторичную электронную эмиссию, например, сурьмяно-цезиевое.

9.3.1. В случае автоэлектронной эмиссии внешнее электрическое поле превращают потенциальный порог на границе тела в барьер конечной ширины и уменьшает его высоту относительно высоты первоначального порога, вследствие чего становится возможным квантовомеханическое тунелирование электронов сквозь барьер. При этом эмиссия происходит без затраты энергии электрическим полем.

А.С. N 488268: Способ измерения объемной концентрации углеводородов в вакуумных системах путем термического разложения углеводородов на нагретом острейном автокатоде и регистрации времени накопления пиролизного углерода до одной из эталонных концентраций, отличающихся тем, что с целью повышения точности измерения время накопления углерода регистрируют по изменению значения автоэлектронного тока.

9.3.2. Наличие на поверхности металла тонких диэлектрических пленок в сильных полях не мешает походу электронов через потенциальный барьер. Это явление называется э ф ф е к т о м М о л ь т е р а .

А.С. N.119712: 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 об-

ладающих эффектом.

9.3.3. 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 N 2189746: 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 пере. Устройство применимо в магнитных долговременных и оперативных запоминающих устройствах.

А.С. N 286274: Устройство для измерения контактного давления ленты на магнитную головку, содержащее упругие элементы и датчики, отличающиеся 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.

Г.Е. Зильберман. Электричество и магнетизм. М., "НАУКА", 1970  
К.9.1 "Юный техник", N.3 стр.17, 1976, А.С.484896, 461343  
К 9.2. А.С.464183 патент ФРГ 1295100  
К 9.3. Таблица физических величин. М., "Атомиздат", 1976, стр.444

## ГАЛЬВАНО И ТЕРМОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ.

10.1. Гальваномагнитные явления - это совокупность явлений, возникающих под действием магнитного поля в проводимых проводимых, по которым протекает электрический ток. При этом:

10.1.1. В направлении перпендикулярном направлениям магнитного поля и направлению тока, возникает электрическое поле (эффект Эолла).

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.

А.с. 272 426: 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 Э.Д.С. Холла на его основных гранях, по которой судят об искомой величине.

А.с. 2 836 399: Устройство для измерения среднего индикаторного давления в цилиндрах поршневых машин, содержащее датчик, преобразующий давление и электрический сигнал, датчик положения поршня, усилитель, электронный вычислительный блок и указатель, отличающийся 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.

10.1.2. В направлении перпендикулярном к направлению магнитного поля и направлению тока возникает температурный градиент (разность температур) эффект Эттингсгаузена.

А.с. 182 778: Низкотемпературное устройство на основе эффектов Пельтье и Эттингсгаузена, отличающийся 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.

10.1.3. Изменяется сопротивление проводника, что эквивалентно возникновению добавочной разности потенциалов вдоль направления электрического тока. Для обычных металлов это изменение мало - порядка 0,1% в поле 20 кв, однако для висмута и полупроводников величина изменения может достигать 200% (в полях 80 кв.).

А.с. 163 508: Универсальный гальваномагнитный датчик, содержащий плоские токовые и холловские электроды точечность контакта которых обеспечивает переключки в теле датчика, отличающийся тем, что с целью уменьшения эффекта закорачивания холловского напряжения токовыми электродами использования одного и того же единого гальваномагнитного датчика как датчика э.д.с. Холла или как датчика магнитосопротивления, или как генератора, токовые электроды расположены вдоль эквипотенциальных линий поля Холла или под острым углом к ним, например по ребрам плоского датчика, а для перехода из одного используемого эффекта к другому применено коммутирующее устройство и регулируемый источник питания.

10.1.4. Термомагнитные явления - совокупность явлений, возникающих под действием магнитного поля в проводниках, внутри которых имеется тепловой поток. при поперечном замагничивании проводника возникает следу-

ющие термомагнитные явления:

10.2.1. В направлении перпендикулярном градиенту температур и направлению магнитного поля возникает градиент температур (эффект Риге-Ледюка).

10.2.3. При продольном намагничивании образца изменяется сопротивление, термо - э.д.с., теплопроводность (появляется тепловой поток).

А.с. 187 859: Устройство для измерения э.д.с. поперечного эффекта Кернота-Эттингсгаузена в полупроводниковых материалах, содержащее нагреватель, холодильник и термопары-зонды, отличающиеся тем, что с целью исключения неизотермической части э.д.с. Кернота-Эттингсгаузена, уменьшения тепловых потерь и исключения циркуляционных токов на контакте полупроводниковизмерительные 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 для решения задач. Оно просто демонстрирует, что использование эффектов требует как их знания, так и решения сложных электрических задач.

10.2.4. Электронный фототермомагнитный эффект - появление э.д.с. в однородном проводнике (полупроводнике или металле), помещенном в магнитном поле, обусловленное поглощением электромагнитного излучения свободными носителями заряда. Магнитное поле должно быть перпендикулярно потоку излучения. Этот эффект применяется в высокочувствительных 10 в минус тринадцатой степени вт, сек<sup>1/2</sup> приемниках длинноволнового инфракрасного излучения. Постоянная времени эффекта - 10 в минус седьмой степени сек.

## ЛИТЕРАТУРА

к 10.1 "Радио", №9, 1964, стр.53, А.с.249473, 255996;  
к 10.2 А.с.476463.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ В ГАЗАХ.

11.1 В обычных условиях любой газ, будь то воздух или пары серебра, является изолятором. Для того, чтобы под действием электрического поля возник ток, требуется каким-то способом ионизовать молекулы газа. Внешние проявления и характеристики разрядов в газе чрезвычайно разнообразны, что объясняется широким диапазоном параметров и элементарных процессов, определяющих 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 второго рода, упругое рассеяние носителей заряда, различные виды эмиссии электронов. Такое многообразие управляемых факторов создает предпосылки для весьма широкого

применения газовых разрядов.

11.1.1. Потенциалом ионизации называется энергия, необходимая для отрыва электрона от атома или иона. Для нейтронных невозбужденных атомов величина этой энергии изменяется от 4 ( ) до 24 (He) электрон-вольт. В случае молекул и радикалов энергия разрывов связей лежит в пределах 0,06+11,1 э.в.( )

11.1.2. Фотоионизация атомов. Атомы могут понижаться при поглощении квантов света, энергия которых равна потенциалу ионизации атома или превосходит ее.

11.1.3. Поверхностная ионизация. Адсорбированный атом может покинуть нагретую поверхность как в атомном так и в ионизованном состоянии. Для ионизации необходимо, чтобы работа выхода поверхности была больше энергии ионизации уровня валентного электрона адсорбированного атома (щелочные металлы на вольфраме и платине)

11.1.4. Процессы ионизации используются не только для возбуждения различных видов газовых разрядов, но и для интенсификации различных химических реакций и для управления потоками газов с помощью электрических магнитных полей (см. 6.1.1 и 6.7.2.).

А.С. N 187894. Способ электродуговой сварки с непрерывной и импульсной моделями энергии, отличающийся тем, что с целью повышения точности выполнения сварного шва и облегчения зажигания дуги, ионизирующей дуговой промежуток.

А.С. N 444818: Способ нагрева стали в окислительной атмосфере, отличающийся тем, что с целью снижения обезуглеродивания, в процессе нагрева осуществляют ионизированные атмосферы.

А.С. 282684: 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 полный пучок, а затем вводят ионный пучок в вакуумный объем, где его нейтрализуют на металлической мишени, и по току ионного пучка судят о величине газового потока.

11.2. 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 необязательно (высокочастотный тороидальный заряд).

11.3. При достаточно больших давлениях и длинах разрядного промежутка основную роль в возникновении и протекании раз-

ряда играет газовая среда. Поддержание разрядного тока определяется поддержанием равновесной ионизации газа, происходящий при малых токах за счет гауноендовских 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  $P \approx 0,02-0,4$  мм.рт.ст/см процессы на электродах становятся определяющими.

11.4. 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 перфорации носителя информации источником пульсирующего света вызывает зажигание некоторых из них, продолжающиеся и после исчезновения светового импульса. Таким образом лампы тлеющего разряда обеспечивают хранение информации и не требуют дополнительного запоминающего устройства.

11.5. Примесь молекулярных газов в разрядном промежутке при коронном разряде приведет к образованию страт, т.е. расположенных поперек градиента электрического поля темных и светлых полос.

11.6. Тлеющий разряд в сильно неоднородном электрическом поле и значительном ( $P \approx 100$  мм.рт.ст.) давлении называют коронным. Ток коронного разряда имеет характер импульсов, вызываемых электронными лавинами. Частота появления импульсов 10-100 кГц.

11.7. 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 дугового разряда существенна высокая электронная эмиссия катода и термическая ионизация в плазменном столбе. Спектр дуги обычно содержит линии материала катода.

А.с. 226 729: Способ выпрямления переменного тока с помощью газоразрядного промежутка с полым катодом при низком давлении газа, соответствующим области левой ветви кривой Па-шена, отличающийся тем, что с целью повышения выпрямленного тока и уменьшения падения напряжения в течении проводящей час-

ти периода, при положительном потенциале на аноде систему "анод-полый катод" переводить в режим дугового разряда.

11.8. Искровой разряд начинается с образования стример саморапространяющихся 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 оказывает влияния на пробивное напряжение в этом виде разряда.

Расстояние между сферическими электродами, соответствующее возникновению искрового пробоя весьма часто служит для измерения высокого напряжения.

А.с. 272 663: Способ определения размера макрочастиц с подачей их на заряженную поверхность, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерения, определяют интенсивность световой вспышки, сопровождающей электрической пробой между заряженной поверхностью и приближающейся к ней частицей и по интенсивности судят о размере частицы.

11.9. Факельный разряд - особый вид высокочастотного одноэлектродного разряда. При давлениях, близких к атмосферному или выше его, факельный разряд имеет форму пламени свечи. Этот вид разряда может существовать при частотах 10 МГц, при достаточной мощности источника.

11.10. При изучении заряженного острия наблюдается интересный эффект - так называемое стекание зарядов с острия. В действительности никакого стекания нет. Механизм этого явления следующий: имеющиеся 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.

Несколько примеров на применение коронного разряда:

А.с. 485 282: Устройство для кондиционирования воздуха, содержащее корпус с поддоном и патрубками для подвода и отвода воздуха и размещенный в корпусе воздуховоздушный теплообменник с каналами орошаемыми со стороны одного из потоков, отличающийся тем, что с целью повышения степени охлаждения воздуха путем интенсификации испарения коронирующие воды, по оси орошаемых каналов теплообменника установлены электроды, прикрепленные к имеющему заземление корпусу с помощью изоляторов и подключенные к отрицательному полюсу источника напряжения.

Заявка СССР 744429/25: Авторы предлагали измерять диаметр проволоки тоньше пятидесяти микрон с помощью коронного разряда. Как известно, коронный разряд в виде светящегося кольца возникает вокруг проводника, если к проводнику приложить высокое напряжение. При определении сечения проводника коронный разряд будет иметь вполне определенные характеристики. Стоит изменить сечение, тотчас изменяется и характеристика коронного разряда.

## ЛИТЕРАТУРА

Таблицы физических величин. М., "Атомиздат", 1976, стр.427-439.

к 11.1 А.с.179599.

к 11.4 А.с.234527.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ 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.

12.1. 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 (см.3.6.1.).

Электроосмос применяется при очистке коллоидных растворов от примесей, для очистки глицерина, сахарных сиропов, желатина, воды, при дублении кож, а также при окраске некоторых материалов.

12.2. Эффект обратный электроосмосу - возникновение разности потенциалов между концами капилляра, а также между противоположными поверхностными диафрагмами мембраны для другой пористой среды при протекании через них жидкости (потенциал течения).

12.3. Электрофорез (катофорез) - движение под действием внешнего электрического поля твердых частиц, пузырьков газа, капель жидкости, а также коллоидных частиц, находящихся во взвешенном состоянии в жидкой или газообразной среде.

Электрофорез применяют при определении взвешенных в жидкости мелких частиц, не поддающихся фильтрованию или сжиманию, для обезвоживания торфа, очистки глины или каолина, обезвоживания красок, осаждение каучука из латекса, разделения масляных эмульсий, осаждения дымов и туманов.



А.с. 308 986: Способ снижения пористости керамических изделий путем насыщения их дисперсионным материалом, отличающийся тем, что целью повышения электрической прочности, насыщения проводят за счет электрофоретического осаждения твердых частиц на суспензии с наводной дисперсионной средой.

12.4. Эффект обратный электрофорезу - возникновение разности потенциалов и жидкости в результате движения частиц, вызванного силами не электрического характера, например, при оседании частиц в поле тяжести, при движении в ультразвуковом или центробежном поле (седментационный потенциал или потенциал оседания).

12.5. Электрокапиллярные явления - явления связанные с зависимостью величины поверхностного натяжения на границе раздела электрод-раствор от потенциала электрода (см.3.3.6.).

## ЛИТЕРАТУРА

Краткая химическая энциклопедия. М.,1967, т.5, стр.934-936.

## СВЕТ И ВЕЩЕСТВО.

13.1. Свет. 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 его электрическому действию или по вызываемой им химической реакции. Восприятие света сетчаткой глаза является одним из примеров его фотохимического действия. В зрительном восприятии определенной длины волны света сопутствует 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 вычлени 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, излучение ультрафиолетом может инициировать или усиливать многие химические реакции.

А.с. 489 602: 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 детали, разложение химических соединений осуществляет облучением ультрафиолетовым светом.

Существенно влияние ультрафиолета на биологические объекты, например, его бактерицидное действие.

Следует помнить, что ультрафиолетовое излучение очень сильно поглощается большинством веществ, что не позволяет применить при работе с ним обычную стеклянную оптику. До 0,18 мкм используют кварц, фтористый литий, до 0,12 мкм - флюорит; для еще более 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.

А.с. 269 400: Способ противопожарного контроля волокнистого материала, например, хлопка-сырца, подаваемого по трубопроводу к месту его хранения, отличающийся тем, что с целью повышения надежности хранения, контроль осуществляется посредством расположенных по периметру трубопровода датчиков, реагирующих на инфракрасное излучение.

А.с. 271 550: 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 обнаружил недавно польские ученые: прямое облучение стальных изделий светом инфракрасных ламп сдерживает процессы коррозии не только в условиях обычного хранения, но и при повышении влажности и содержания сернистых газов.

Сильным изобретательским приемом является переход от одного диапазона излучения к другому.

А.с. 232 391: Способ определения экспозиции засветки

фоторезисторов на основе диасоединений и азидов в процессе фотолитографии, отличающийся тем, что с целью улучшения воспроизводимости и увеличения выхода годных приборов, полупроводниковый эпитаксиальный материал с нанесенным на него фоторезистом облучают ультрафиолетовым или видимым светом, причем экспозицию определяют по времени исчезновения полосы поглощения пленки фоторезиста в области 2000-2500 см. в минус первой степени. Здесь облучают коротковолновым светом, а изменение свойств регистрируют по поглощению в инфракрасной области - 2000 см. в минус первой степени соответствуют длине волны 3,07 мкм.

13.1.1. 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 в направлении распространения света действует распределенная 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 импульса 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, "оксентактность" воздействия и "избирательность" светового давления в отношении тел с различными поглощающими и отражающими свойствами позволяют с успехом использовать это явление в изобретательстве (например, фотонная ракета).

Согласно патенту США 3 590 932: световое давление используется в микроскопах для уравнивания малых изменений массы или силы. Измерительное фотоэлектрическое устройство определяет, какая величина светового потока, а следовательно светового давления, потребовалась для компенсации изменения массы образца и восстановления равновесия системы.

А.с. 174 432: 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 избирают меньше частотного разноса центров линий поглощения соседних с них компонентов, при этом частоту излучателя настраивают на центр линии поглощения откачиваемого компонента.

### 13.2. Отражение и преломление 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 меняется; происходит преломление света.

Угол отражения равен углу падения, а угол преломления связан с углом падения соотношением: где  $n_1$  и  $n_2$  - показатели преломления сред, и - углы падения и преломления.

Показатели преломления обычных газов (при нормальных условиях) близки к 1, для стекл эта величина порядка от 1,4 до 1,7.

Эффекты отражения и преломления лежат в основе работы всех оптических систем, которые позволяют передавать световую энергию и изображения, фокусировать свет в мощные пучки, разлагать его в спектр (см. Дисперсия).

США патент 3 562 530: Способ получения и нагревания незагрязненных пламоидов заключается в том, что мишень располагается в первой сопряженной фокальной точке закрытой камеры, которая представляет собой зеркально отражающую 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 информацию о форме предмета (а также о структуре его поверхности) как в случае зеркального, так и диффузного отражения.

А.с. 521 086: Способ определения пайки выводов радиодетале, 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.

А.с. : Способ определения частоты обработки поверхности, заключающийся в том, что направляют световой поток на контролируемую поверхность и регистрируют световой поток, отраженный

от нее, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерения, поворачивают контролируемую поверхность вокруг оси, перпендикулярной плоскости падения светового потока, регистрируют угол наклона, при котором отраженный от него световой поток будет составлять заданую часть, например, половину от максимального, и по алгебраической разности определяют чистоту обработки поверхности.

Процессы отражения и преломления связаны с внутренней структурой вещества; измерение показателя преломления - один из важнейших методов структурных исследований (3).

А.с. 280 956: 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.

А.с. 541 484: Способ регулировки температуры размягчения донного продукта отпарного аппарата в зависимости от изменения режимного параметра в зоне питания аппарата, отличающийся тем, что с целью повышения качества регулировки, режимный параметр корректируют в зависимости от коэффициента преломления дистиллятного продукта, выводимого из аппарата.

В общем случае, лучи отраженный и преломленный - это лучи поляризованного света (см.Поляризация). 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, не смотря на скачок показателя преломления (см.Анизотропия и свет).

А.с. 501 377: Акустооптический дефлектор, содержащий акустооптический эффект 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 Брегга для данного материала, а выходная поверхность - под углом, равным разности между углом Брюстера и углом дифракции Брегга.

13.2.1. При определенных условиях может наблюдаться полное внутреннее отражение света, при котором вся энергия световой волны, падающей на границу двух прозрачных сред со стороны среды, оптически более плотной, полностью отражается в эту среду. В частности это явление используется в призмах би-

ноклей и перископов, но диапазон его применения в изобретательстве гораздо шире (1).

А.с. 287 363: Устройство для измерения температуры, содержащее измерительный элемент, установленный в контролируемой среде, и источник белого света с диафрагмой, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерения температуры и увеличения светосилы устройства, измерительный элемент выполнен в виде двух прозрачных прямоугольных призм, сложенных 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.

А.с. 288 464: Устройство для активного контроля распыления жидкости, выполненное из источника света, воздействующего через собирающую линзу через фоторезистор, к которому подключен усилитель, отличающийся тем, что с целью увеличения надежности контроля, на пути света за линзой последовательно оптический многогранник полного внутреннего отражения и охватывающая его изогнутая шторка, образующая с одной из граней клинообразное входное пространство.

США патент 3 552 825: Переменный цифровой элемент состоит из прямоугольной призмы, над гипотенузой грани которой располагаются несколько отражающих слоев. Луч света проходит через одну из катетных граней призмы и падает на ее гипотенузную грань под углом, который равен критическому углу или больше его. Обычно луч света будет испытывать полное внутреннее отражение в призме и выходить через другую ее катетную грань. Однако, если отражающий слой, расположенный над гипотенузой грани, имеет с ней оптический контакт, полное внутреннее отражение нарушается и луч проникает в этот отражающий слой. На гипотенузной грани могут располагаться несколько отражающих слоев. Явление полного внутреннего отражения, а также нарушение его, используется для определения количества отражающих слоев, пройденных лучем света прежде, чем испытать полное внутреннее отражение, пройти обратный путь через отражающие слои, призму и выйти через вторую ее катетную грань. Отражающие слои изготавливаются из стекла, либо представляют собой полости, заполненные жидкостью. Изгиб того или иного слоя и, следовательно, нарушение оптического контакта этого слоя со смежной поверхностью, может быть осуществлен с помощью пьезоэлектрического кристалла.

На основе явления полного внутреннего отражения созданы световоды, которые гораздо эффективнее обычных линзовых систем. Широкие одиночные светопроводы передают излучение; применение волоконной оптики - пучков очень тонких светопроводов - позволяет передавать также изображение в том числе и по непрямым

путям, т.к. пучок тонких волокон может быть сильно изогнут без разрушения и потери прозрачности.

А.С. N210677. Устройство для выравнивания косогорных машин или их рабочих органов, содержащее маятниковый датчик наклона и электрогидравлический механизм выравнивания, отличающийся тем, что с целью повышения надежности, оно снабжено гибкими световодами, 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 1, отличающееся тем, что между источником и гибкими световодами установлены промежуточные световоды, например, из стекловолокна.

13.3. Поглощение и рассеяние света. В предыдущем разделе явления рассматривались как предположение 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 колебания электронов и последующего переизлучения этой энергии. При этом, не вся энергия переизлучается, часть ее переходит в другие виды энергии например тепловую. Это приводит к поглощению света с зависит от длины волны света и имеет максимумы на частотах, соответствующих частотам собственных колебаний электронов в атомах, самих атомов и молекул (см. "Поглощение и излучение света"). Естественно, поглощение зависит от толщины слоя поглощающего вещества.

США, ПАТЕНТ N.3825755. Толщину полимерной пленки измеряют, сравнивая потоки ИК-излучения: отражающего от поверхности и прошедшего сквозь пленку, ослабленного за счет поглощения в слое полимера.

Великобритания, заявка N.1332112. Для определения влагосодержания предмета его облучают светом с длиной волны, лежащей в области поглощения воды, и измеряют сигнал ослабленного излучения.

А.С. N 266560. 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, рассеи-

ваются 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.

А.С. N.253408. 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 которых зависят от длины волны и температурные коэффициенты показателей преломления отличаются знаком либо величиной.

(Показатели преломления компонентов смеси совпадают для различных длин волн в зависимости от температуры. Этим кювета становится оптически однородной для света с данной длиной волны, который пройдя через кювету, сообщает ей определенный цвет, соответствующей определенной температуре. Другие же составляющие белого цвета рассеиваются на неоднородностях системы и через кювету не проходят).

Распределение интенсивности света, рассеянного средой по различным направлениям (и н д е к а т р и с с а рассеяния), может дать значительную информацию о микрофизических параметрах среды. Такого рода измерения находят применение в биологии, коллоидной и аналитической химии, составляя предмет нефелометрических исследований, а также в аэрозольной технике.

Согласно а.с. 172094 определяют параметры капель жидкости, измеряя характеристики светового излучения, рассеянного на каплях.

Рассеяние наблюдается в чистых веществах. Оно объясняется возникновением оптической неоднородности, связанной с флуктуациями плотности, например, тепловыми. Рассеянный свет по некоторым направлениям частично поляризован. (см. "Анизотропия и свет").

13.3.1 В случае комбинационного рассеяния света (эффект Рамана-Ландсберга-Мандельштама) 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 N 3820897 конт содержания загрязне-



ний в большом объеме воздуха производится на основе анализа характеристического романовского излучения (сателлитов комбинационного рассеяния), возникающего при рассеянии лазерного излучения на атомах и молекулах загрязнений.

#### 13.4. Испускание и поглощение света.

Пламя излучает свет. Стекло поглощает ультрафиолетовые лучи. Обычные фразы, привычные понятия. Однако здесь термины "излучает", "поглощает" описывают только внешне, легко наблюдая, 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 кажда 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 в 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 излучательными и безизлучательными. 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 безизлучательных переходов система получает или отдает энергию при взаимодействиями с другими системами (атомами, молекулами, электронами) Наличие этих двух типов переходов объясняется оптикоакустический эффект Бейнгерова

13.4.1. При облучении газа, находящегося в замкнутом объеме, амодулированным 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 безизлучательно, т.е. энергия возбуждения молекул переходит в их кинетическую энергию, что обуславливает изменение давления.

Количественные характеристики эффекта весьма чувствительные к составу газовой смеси. Применение оптико-акустического эффекта для анализа характеризуется простотой и надежностью, высокой избирательностью и широким диапазоном концентрацией компонентов.

Оптико-акустический индикатор представляет собой неселек-

тивный приемник лучистой энергии, предназначенный для анализа газов Промудулированный 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 времен жизни возбуждения молекул, в ряде работ по определению влажности и потоков излучения. (см. а. 109939, 167072, 208328, 208329). Отметим, что оптико-акустический эффект возможен также в жидкостях и твердых телах.

13.4.2. 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 спектрового анализа. Так как молекулы - тоже существенно квантовые системы, то каждое вещество (совокупность атомов или молекул) испускает и поглощает только кванты определенных энергии 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.

США, патент N.3820901. 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, содержащим большее число длин волн, чем находится компонентов в газовой смеси, можно обнаружить наличие неизвестных газов.

Для атомов и молекул спектры излучения будут линейчатыми и полосатыми соответственно, то же и для спектров поглощения. 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.

13.4.3. Возбуждение (повышение внутренней энергии) или ионизация атомов происходят под действием различных причин; в частности, энергия для этих процессов может быть получена при нагревании тел. Чем больше температура, тем больше энергия

возбуждения и тем все более короткие волны (кванты с большей энергией) излучает нагретое тело. Поэтому при постепенном нагреве сначала появляется инфракрасное излучение (длинные волны), затем красное, к которому с ростом температуры добавляется оранжевое, желтое и т.д.; в конце концов получается свет. Дальнейший нагрев приводит к появлению ультрафиолетовой компоненты.

США, патент N.3580277. Устройство для непрерывного измерения температуры ванны жидкого металла содержит стержень из светопрозрачного материала обладающего высокой температурой и коррозионной стойкостью. Стержень проходит сквозь стенку резервуара и внутри последнего заделывается в массу свободного от щелочей окисла с высокой температурой плавления, например окиси циркония. Конец стержня, находящийся в резервуаре, служит цветовым пирометром.

Излучательные и безызлучательные переходы в инфракрасной области часто используются для процессов и охлаждения (см. ИК-излучение).

А.С. N.509545 Стеклоформирующий инструмент, включающий металлический корпус с покрытием, отличающийся тем, что с целью полноты 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.

А.С. N. 451002. Способ измерений коэффициента теплопроводности твердых тел, включающий изотермическую выдержку его охлаждение при постоянной температуре окружающей среды и регистрацию изменения температуры, отличающийся тем, что с целью измеренности частично прозрачных материалов, образец на стадии поглощения помещают в вакуумное пространство и измеряют энергию, излучаемую поверхностью образца в спектральной области сильного поглощения.

13.4.4. Излучательные квантовые переходы могут происходить не только спонтанно, но и вынуждено 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 вынуждающего 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 **о т р и ц а т е л ь н ы м**  
**п о г л о щ е н и е м**.

13.4.5. Для возникновения вынужденного излучения необходимо наличие в веществе возбужденных атомов, т.е. атомов, находящихся на вышних в большей энергией. Обычно доля таких атомов мала. Для того чтобы усилить 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 **н а с е л е н н о с т ь ю**.

13.4.6. Открытие советскими физиками Фабрикантом, Вудынским и Бутаевой явления усиления электромагнитных волн при прохождении через среду с инверсией населенностей явилось основополагающим в деле развития оптических **к в а н т о в ы х г е н е р а т о р о в** (лазеров) крупнейшего изобретения века.

Стержень из вещества с искусственно создаваемой инверсией населенностей, 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 лоя медицина и получение высокотемпературной плазмы, - стали определяться новые интересные сферы их использования.

Чрезвычайно перспективны разработанные в последнее время лазеры на красителях, в отличие от обычных позволяющие плавно изменять частоту излучения в широком диапазоне от инфракрасной до ультрафиолетовой области спектра. Так, например, предполагается лазерным лучом разрывать или наоборот, создавать строго определенные 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 реакций, отделить от других изотопов.

А вот чисто изобретательское применение лазера в качестве датчика давления:

А.с. 232 194: 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 ячейкагазового квантового генератора.

В заключении следует отметить, что лазеры являются основным инструментом последований в новой области физики - нелинейной оптике, которая своим возникновением полностью обязана мощным лазерам (см. "Эффекты нелинейной оптики").

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

К 13.1.1. Г.С.Ландсберг. Оптика, М., "Наука", 1976 г.  
2. Л.Беллами. Инфракрасные спектры молекул, 1957.  
3. В.В.Козелкин, И.Ф.Усольцев, "Основы инфракрасной техники", М., "Машиностроение", 1974.  
4. В.Дитчберн, "Физическая оптика", пер. с англ., М., 1965.  
5. А.с. 181372, 181824, 251912, 257096, 271532, 282777, 283327, 348498, 427990, 446530, 453664, 486225, 496270, 509416.  
США, патенты 3554628, 3558881, 3560738, 3562520, 3796099.

К 13.2 и 13.3:

1. Г.С.Ландсберг, Оптика, М., "Наука", 1976.  
2. Р.Дитчберн, Физическая оптика, пер. с англ., М., 1965.  
3. С.С.Базианов, Структурная рефрактометрия, М., 1959.  
4. А.с. 269357, 454511, 485076, 517786, 540276.  
США, патенты 358864, 3588258, 3824017.  
ФРГ ПЕТЕНТ 1249539,

К 13.4: 1. М.Борн, Атомная физика, пер.с англ., М., 1965.  
2. М.А.Ельяшевич, Атомная и молекулярная спектороскопия, М., 1962.  
3. А.Н.Зайдин, Основы спектрального анализа, М., 1965.  
4. Квантовая электроника, М., "Советская энциклопедия", 1969.  
5. Б.Ф.Федоров, Оптические квантовые генераторы, М., 1966.  
6. Чернышов и др., "Лазеры в системах связи", М., 1966.  
7. В.В.Козелкин, И.Ф.Усольцев, Основы инфракрасной техники, М., "машиностроение", 1974.  
8. Б.Лендьял, Лазеры, пер.с англ., М., 1964.

9. А.с. 239423, 239694, 209638, 208328, 208329, 109939, 167072.  
США патенты 3826576, 3820897, 3826575, 3588253, 3588439, 3825347, 3588255.

## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОХИМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ.

### 14.1.1. 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 электронами, которые получают возможность покинуть это вещество - конечно, если энергия кванта больше, чем работы выхода электрона (см. "Электронная эмиссия"). 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, фотоумножители и т.д.). Внешний фотоэффект играет большую роль в развитии электрических зарядов; фотоэффект в газах определяет распространение электрического заряда в газах при больших давлениях обуславливая высокую скорость распространения стримерной формы разряда (искры, молнии) (1-4).

А.с. 488 718: Способ спектрометрии оптического излучения, отличающийся тем, что с целью упрощения спектральных работ, спектральный состав излучения определяют по кинетическим энергиям фотоэлектронов генерируемых при фотомонизации атомов и молекул.

Кроме внешнего фотоэффекта, существует внутренний фотоэффект. Квант света, проникая внутрь вещества, выбивает электрон переводя его из связанного состояния (в атоме) свободное - таким образом, при облучении полупроводников и диэлектриков из-за фотоэффекта внутри кристаллов появляются свободные носители, тока, что существенно изменяет электропроводность вещества. На основе внутреннего фотоэффекта созданы различного рода фоторезисторы-элементы, сильно изменяющие свое сопротивление под действием света (5,6).

А.с. 309339: 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 материала, обладающего эффектом возникновения фотоэлектродвижущей силы.

А.с. 508828: Пьезоэлектрический преобразователь с оптическим управлением, содержащий фоторезисторный слой, светопровод и металлический электрод, отличающееся тем, что с целью расширения частотного диапазона в область низких мегагерцевых и высоких килогерцевых частот, он выполнен в виде пьезокерамической платины, на одну сторону которой нанесен металлический электрод, а на противоположную - фоторезисторный слой и прозрачный электрод, являющийся одновременно светопроводом.

Разновидностью внутреннего фотоэффекта является вентильный фотоэффект - появление э.д.с. 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 (7).

А.с. 475719: Устройство для регулирования напряжения электромагнитных 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, к выходу обмотка возбуждения генератора, отличающееся тем, что с целью повышения надежности и точности регулирования параллельно упомянутому шунту включен светодиод одноэлектронной пары, фотодиод который через цепь подпитки подключен параллельно ограничивающему резистору.

#### 14.1.2. Эффект Дембера (фотодиффузный эффект).

Внесобственных полупроводниках коэффициенты диффузий носителей тока (электронов и дырок) различные. Таким образом, если какой-то части проводника фотоактивное освещение создает одинаковое число электронов и дырок, то диффузия этих носителей будет происходить с разной скоростью, в результате чего в кристалле возникает э.д.с. (1).

#### 14.1.3. Фотопьезоэлектрический эффект.

Обеспечить различие подвижности фотоэлектронов и фотодырок в полупроводнике можно каким-либо внешним воздействием. Так, при одностороннем сжатии освещенного полупроводника на грани кристалла, перпендикулярно направлению сжатия, возникает э.д.с., 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 не

одинаковыми по отношению к различным направлениям (3).

#### 14.1.4. Эффект Кикоина-Носкова (фотомагнитный эффект).

Суть эффекта состоит в возникновении электрического поля в полупроводнике при перемещении 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 света магнитной э.д.с. пропорциональна магнитной индукции и интенсивности светового потока. Эта пропорциональность нарушается при больших освещенностях, когда происходят "насыщения". Механизм эффекта таков:

В результате внутреннего фотоэффекта вблизи освещенной поверхности полупроводника в избытке образуются электроны и дырки, которые диффундируют вглубь кристалла. Продольный диффузионный ток под действием поперечного магнитного поля отклоняется и расщепляется, что приводит к возникновению поперечной э.д.с.

#### 14.2. Фотохимические явления.

Виды воздействия светового излучения на вещество весьма разнообразны. В частности, под действием света могут происходить реакции химических превращений веществ (фотохимическая реакция). Одни из этих реакций приводят к образованию сложных молекул из простых (например, образование хлористого водорода при освещении смеси водорода и хлора), другие - к разложению молекул на составные части (например, фотохимическое разложение 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 свойств (возникают тереоизомеры).

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 цепь вторичных химических реакций 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 прореагиро-



вавшего вещества пропорционально поглощенному световому потоку и времени его воздействия. Величина коэффициента пропорциональности определяется природой вторичных процессов.

Фотохимическую реакцию может вызвать лишь излучение, энергия кванта которого больше энергии активации молекулы. Этим объясняется повышение фотохимической активности ультрафиолетового излучения.

Следует отметить, что фотохимическими процессами объясняются многие природные явления, такие как синтез углеводов листьев в листьях растений или чувствительность глаза к световому излучению.

Фотохимическая реакция разложения бромистого серебра (и других его коллоидных солей) использована для получения фотографических изображений. Изображение представляет собой локальные почернения фотоматериала из-за выделившихся под действием отраженного от объекта света частичек серебра.

14.2.1. К фотохимическим явлениям относится и так называемый фотохромный эффект, который состоит в следующем. 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 сколь 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 несколько микросекунд. Это позволяет использовать фотохромные тела как светохатворы для защиты глаз или светочувствительных приборов от неожиданной вспышки мощного излучения. Есть возможность использовать их 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.

А.с.267 967: Устройство для представления информации в трехмерной форме, отличающееся тем, что с целью улучшения сте-

реоскопического 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 градусов.

2. Устройство по пункту 1, отличающееся тем, что над каждой из фотохромных информационных панелей в зоне, противоположной зоне просмотра, установлена матричная излучающая панель.

3. Устройство по пункту 1, отличающееся тем, что к каждой из панелей подведена линейка волоконных световодов связанных с источником импульсов излучения активизирующего фотохромный материал.

Патент США 3 558 802: Устойчивое фотохромное воспроизводящее устройство, предназначенном для работы с пленкой покрытой фотохромным материалом, содержащим сахарин, имеется центральная камера, в которой находится электроннолучевая трубка. На нормальной прозрачной пленке образуются непрозрачные участки обратимого изображения соответствующего изображению на экране электронно-лучевой трубки. При обработки пленки двуокисью серы, находящейся в газообразном состоянии, проэкспонированные участки фотохромного материала остаются непрозрачными. После этого газ откачивается и камеру подается тепловое излучение, обращаясь те обработанные газообразной двуокисью серы участки, которые были прозрачными во время экспонирования. Участки пленки, временно сделавшиеся не прозрачными под воздействием изображения, проявляющегося на экране электронно-лучевой трубки, постоянно фиксируются. В состав конструкции устройства входит камера для ввода пленки и камера для вывода пленки, связанные с вакуумной откачивающей системой. Выходящая из центральной камеры двуокись серы в газообразном состоянии засасывается вакуумной откачной системой и не попадает в атмосферу.

14.2.2. В основе фотохимических процессов лежит взаимодействие излучения с электронами вещества. Это предполагает наличие возможности управлять ходом фотохимической реакции воздействием электрического поля. Возможно, что природа недавно открытого фотоэлектрического 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, перпендикулярное ее поверхности, проектируют негативное изображение видимых и ультрафиолетовых лучах. При этом в пластине появляется видимое позитивное изображение здесь наблюдается интересная особенность: При измене-

нии 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

- к 14.1.1. С.Ю.Лукьянов, Фотоэлементы, М-Л, 1968.
2. С.Таланский, Революция в оптике, М., "Мир", 1971.
3. А.В.Соколов, Оптические свойства металлов, М., 1961.
4. А.Н.Арсеньева-гейль, Внешний фотоэффект с полупроводников и диэлектриков, М., 1957.
5. Р.Бьюб, Фотопроводимость твердых тел, М., 1962.
6. С.М.Рывкин, Фотоэлектрические явления в полупроводниках, М., 1963.
7. А.М.Васильев и др., Полупроводниковые преобразователи, М., "Соврадио", 1971.
- к 14.2.1. Г.С.Ландсберг, "Оптика", М., "Наука", 1976.
2. Б.Баршевский, Квантовооптические явления, М., "Высшая школа", 1968.
3. Фотоферроэлектрический эффект, "Техника молодежи"-5, 1977.

## ЛЮМИНИСЦЕНЦИЯ.

Люминесценцией называется излучение, избыточное над тепловым излучением тела, и имеющее длительность, прерывающую период световых колебаний. Люминесценция возникает при возбуждении вещества за счет притока энергии, и в отличии от других видов "холодного" свечения (например, излучение Вавилова-Черникова), продолжается в течении некоторого времени после прекращения возбуждения (1,2).

О продолжительности после свечения выделяют флуоресценцию (менее 10 сек.) и фосфоресценцию; последнее продолжается в заметный промежуток времени после снятия возбуждения (от 10 сек. до нескольких часов).

Способность 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. переходя 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.

15.1. Люминесценции, возбуждаемая электромагнитным излучением.

15.1.1. Фотолюминесценция - свечение возникающее при поглощении люминофором ИК, видимого или УФ-излучения. Спектр 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).

А.с. 331 271: Способ контроля геометрии сварных изделий с помощью люминофора, при котором 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, люминоформную суспензию наносят на внутреннюю поверхность свариваемых деталей перед сваркой, а в качестве источника УФ-лучей используют сварочную дугу.

А.с. : Способ количественного определения горечи (кукурбитаценонов) в огурцах, включающий взятие образцов экстрагирование спиртом и определение кукурбитаценонов, отличающееся тем, что с целью ускорения процесса, экстракт облучают ультрафиолетовым светом измеряют интенсивность вторичного свечения и количество кукурбитаценонов, определяют по показаниям прибора и калибровочному графику.

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).

15.1.2. Однако есть исключение из правила Стокса-Люмеля - это так называемые, антистоксовские люминофоры, которые при возбуждении в ИК-области спектра излучают в видимой области.

Применение этих люминофоров связано с преобразованием ИК-излучения в видимое например, для визуализации излучения ИК-лазеров, для создания лазеров видимого диапазона с ИК-накачкой, а светодиодов.

15.1.3. Рентгенолюминесценция. Специфика возбуждения рентгеновскими лучами, по сравнению с фотовозбуждением, состоит в том, что на люминофор воздействуют фотоны со значительно

большой энергией. При этом свечение люминофора вызывается не непосредственным действием самих рентгеновских лучей, в воздействии электронов, выражаемых из основы люминофора рентгеновскими лучами. Вследствие этого ретгеноЛюминесценция имеет многие общие черты с катодоЛюминесценцией (3).

Основное применение - в экранах для рентгеноскопии и рентгенографии.

15.2. Люминесценция, возбуждаемая корпусным излучением.

15.2.1. КатодоЛюминесценция - возбуждается воздействием на люминофор потока электронов. Основное применение - визуализация электронного изображения на экранах телескопов телевизоров, осциллографов и других подобных приборов, а также электроннооптических преобразователей (3).

15.2.2. ИоноЛюминесценция - свечение возникающее при бомбардировке люминофора пучком ионов.

При ионоЛюминесценции, также как при катодоЛюминесценци, энергия возбуждения поглощается в тонком приповерхностном слое люминофора, поэтому здесь оказывает состояние поверхности, в частности, хемосорция различных газов (см."Сороция")(3,4).

15.2.3. РадиоЛюминесценция. Для создания самосветящихся красок постоянного действия, не нуждающихся в поточниках внешнего возбуждения, в люминофор вводят радиоактивные изотопы продукты распада которых (например, альфа и бетта частиц) возбуждают в нем свечение. Время в течении которого люминофор излучает свет, определяется периодом полураспада изотопа (десятки лет). РадиоЛюминесценция все более широко применяется в дозиметрии радиоактивных излучений (3).

15.3. Люминесценция, возбуждаемая электрическим полем (5).

15.3.1. ЭлектроЛюминесценция (эффект Дестрио). Многие кристаллические порошкообразные люминофоры, помещенные в конденсатор, питаемый переменным напряжением 100-220 В. с частотой 400-3000 Гц. начинают интенсивно Люминесцировать. Спектральный состав и интенсивность излучения существенно зависят от частоты возбуждения. Некоторые люминофоры излучают и при возбуждении постоянным электрическим полем (5).

А.с. 320710: Система для измерения распределения давления на поверхности модели летательного аппарата, содержащая чувствительный элемент, оптическое сканирующее устройство и фотоэлектрический регистратор, отличающийся тем, что с целью обеспечения возможности непрерывного измерения профиля давления на исследуемой поверхности вдоль заданной линии, в ней чувствительный элемент выполнен в виде электролюминесцентного конден-

сатора, одна обкладка которого образована поверхностью металлической модели, а другая - прозрачным электропроводящим слоем, между которыми нанесен электролюминесциновый 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.

15.3.2. 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 (3).

Широкое применение основанных на этом эффекте светодиодов обусловлено следующими их особенностями: высокая надежность (срок службы 10 в шестой степени часов), малое энергопотребление (1,5-30 В, 10 мА), малая инерционность (10 в минус девятой степени сек.), высокая яркость свечения в зеленой, красной и инфракрасной областях спектра.

А.с. 245 892: Устройство для регистрации электрических сигналов на фотопленку, содержащее источник электрических сигналов, измерительный механизм и механизм протягивания пленки, отличающийся 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.

15.4. Люминесценция возбуждаемая за счет энергии химических реакций, называется хемилюминесценцией (4). 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.

15.4.1. Частным случаем хемилюминесценции является радиокалолюминесценция - излучение вещества-катализатора при адсорбции и рекомбинации на его поверхность свободных атомов или радикалов в молекулы (см. "Сорбция")

США патент 3 659 100: Способ анализа загрязнения атмосферы окисями азота и серы основанный люминесценции между люмино-

фором и пероксидом водорода. В качестве люминофора используется 5-амино-2,3 дигидро-4-фтолозин-диол.

15.4.2. Если источником радикала служит пламя, то свечение называют кандолюминесценцией. Для возникновения кандолюминесценции необходим контакт пламени с люминофором, при этом он не должен сильно нагреваться.

15.5. Источником возбуждения люминесценции может служить и механическая энергия. Такой процесс называют механо или триболюминесценцией. Чаще всего возникает при трении или ударе двух тел, сопровождающихся их разрушением (так сахар при раскалывании иногда светится)

А.с. 275 497: Способ излучения 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 механической деформации и разрушении полимерных материалов.

15.6. 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 также и его интенсивность. При этом пики интенсивности соответствуют температурам структурных переходов, что особенно заметно у различных полимеров. Даже незначительные изменения структуры вещества: повышение степени кристалличности, изменение взаимного расположения макромолекул, существенно влияют на характер свечения. РТЛ весьма чувствительна к механическим напряжениям в полимере. (см.18.7).

Все это позволило создать на основе РТЛ простые и точные методики анализа структуры, излучения степени однородности смесей, исследования деформационных свойств и других характеристик полимеров, причем для анализа достаточно образца весов в сотые доли миллиграмма.

15.7. 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 изменения температуры, видимое, ИК и УФ-излучение, электрическое поле, присутствие некоторых газов и т.д. Стимуляция люминесценции электрическим полем называется эффектом Гуддена-Поля. (6).

А.с. 286 100: 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 Гуддена-Поля.

15.8. Факторы, стимулирующие люминесценцию, при определенных условиях могут дать обратный эффект, т.е. уменьшить интенсивность свечения или совсем прекратить его. Это явление называют уменьшением 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 тоже время как присутствие молекул воды увеличивает ее; наличие электрического поля, перпендикулярного поверхности люминофора, тушит радикалолюминесценцию, изменение же направления поля на обратное усиливает свечение (3),(4).

А.с. 510 186: Способ выделения жизнеспособных семян растений, включающий отбор семян по люминесценции, отличающийся тем, что с целью сохранения целостности семян, их обрабатывают ослабляющими люминесценцию веществами, выбранными из группы, включающей и с последующим отбором 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, плена или овалена.

15.9. Поляризация люминесценции. Излучение люминесценции при некоторых условиях может быть поляризованным (обычно это линейная поляризация, очень редко - циркулярная). (см. "Поляризация", "Анизотропия и свет").

Для поляризации люминесценции необходимо, чтобы люминофор обладал либо собственной, либо наведенной анизотропией. Поляризованные люминофоры получают при механических растяжениях полимерных пленок, "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 Маховелла). В случае фотолюминесценции ее поляризация обнаруживается при возбуждении поляризованным светом.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Люминесценция, в книге "Физический энциклопедический словарь" т.3, М., 1963.
  2. С.И.Вавилов, О "горячем" и "холодном" свете, М., "Знание", 1959.
  3. В.А.Соколов, А.Н.Горбань, Люминесценция и адсорбция, М., "Наука", 1963.
  4. Неорганические люминофоры, Л., "Химия", 1975.
  5. И.К.Веришагин, Электролюминесценция кристаллов, М., "Наука", 1974.
  6. П.Ребань, Люминесценция издание Тартусского университета, 1968.
  7. А.с. 179072, 180859, 181823, 186366, 187080, 227805, 232500, 232548, 234710, 256332, 257052, 274486, 276495, 280979, 288482, 340966, 512452, 525910, 526072.
- США патенты 3261979, 3561271, 3562525, 3566114.

## АНИЗОТРОПИЯ И СВЕТ.

Превращение естественного света в поляризованный и изменение типа поляризации (см. "Поляризация") 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 и вещества. Создавать или менять анизотропию структуры и 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 (см. "Отражение и преломление"), а правоциркулярно-поляризованный свет при перпендикулярном отражении от стеклянной пластинки превращается в левоциркулярно-поляризованный.

16.1. На границе анизотропных прозрачных тел (в первую очередь кристаллов) свет испытывает двойное лучепреломление т.е. расщепляется на два взаимно-перпендикулярно поляризованных луча, имеющие 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 преломления 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 (1-3,6,7,).

Эффект двойного преломления 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.

## 16.2. Механо-оптические явления.

Здесь рассматривается ряд эффектов, приводящих к возникновению оптической анизотропии под действием механических сил.

16.2.1. Фотоупругость - так называется возникновение в изотропных прозрачных твердых телах оптической анизотропии и связанного с ней двойного лучепреломления под действием механических нагрузок, создающих в твердых телах деформации.

При пропускании луча света через такое, пре, тело возникает два луча и 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 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 обладающие анизотропией свойства. 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 (4)

А.С. N.249025: 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.

А.С. N.226811

Франция, заявка N.2189705

Япония, заявка N.49-16676.

США. патент N.3800594

### 16.2.2. Э ф ф е к т М а к с в е л л а .

Так называют возникновение оптической анизотропии (двойного лучепреломления) в потоке жидкости. Этот эффект обусловлен двумя причинами: преимущественно ориентации 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 различных жидкостях и зависит от свойств и структуры молекул: в случае длинных анизотропных частиц и молекул основную роль играет ориентация, для глобулярных изотропных - больший вклад дает информация, 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. (5)

Практическое применение эффекта в основном лежит, в области тонких исследований фиологических объектов, таких, как определение размеров ряда вирусов, изучение структуры многих белковых молекул и др.

### 16.3. Электрооптические явления.

Так называют явления связанные прохождением света через среды, помещенные в электрическом поле.

### 16.3.1. Электрооптический 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. (другие названия эффекта: квадратичный электрооптический эффект, поперечный эл. опт. эффект).

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 т.н. 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 градусов с их главными плоскостями поляризации. Если поле отсутствует, такое устройство не прозрачно 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 между ними возникает разность фаз, что приводит к эллиптической поляризации света, вышедшего из кюветы. При этом часть его проходит через анализатор. Затвор открыт (б). Высокая скорость срабатывания такого затвора (10 в минус 11 степени сек.) обусловило его применение в исследованиях быстропротекающих процессов и для высокочастотной (до 10 в 9 степени Гц) модуляция оптических сигналов. Применение эффекта дает хорошие результаты и в том случае, когда требуется безинерционное 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:

А.с. 235 350: Оптическая система с управляемым фокусным расстоянием, отличающийся тем, что с целью безинерционного 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 распределе-

ние показателя преломления в веществе рабочего тела, что падающий на его торец параллельный пучек света собирается в фокусе, положение которого на оси системы зависит от приложенного конденсатору напряжения.

А.с. 464 792: Устройство для измерения температуры содержащее источник света, пластины из матированного прозрачного материала, пространстве между которыми заполнено жидкостью с близким показателем преломления и 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 (КТ Ват )

А.с. 497 547: Способ углового отклонения светового луча, преломленного на границе раздела двух сред путем изменения показателя преломления одной или обеих сред с использованием электрооптического эффекта, отличающийся тем, что с целью управления углом отклонения, достижения при малой инерционности и быстродействия плоско-поляризованный луч света направляют на кристаллы, которые размещают в переменном по знаку и величине электростатическом поле и ориентируют таким образом, что главные оси сечений их оптических индикаторисс нормальными к лучу плоскостными совпадают с направлениями колебаний поляризованного света и изменяются на разные по знаку величины при наложении электростатического поля на оба кристалла.

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 (см. эффекты нелинейной оптики)(6).

### 16.3.2. ЭФФЕКТ ПОККЕЛЬСА.

Возникновение двойного лучепреломления в кристалле при наложении электрического поля в направлении распространения света называется эффектом Поккельса. 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 (КДР).

Эффект Поккельса по сравнению с эффектом Керра имеет мень-

шую зависимость от температуры. Применение этих эффектов аналогичны (затворы вращатели плоскости поляризации, индикаторы электрического поля, модуляторы света).

А.с. 440 606: Оптико-электронное устройство для измерения мощности, содержащее монохротический источник излучения, магнитооптическую ячейку Фарадея с поляризатором и анализатором, фотоприемник и усилитель с нагрузкой в выходной цепи, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерения, оно снабжено последовательной цепочкой элементов состоящей из четвертьволновой пластины, электрооптической ячейки Поக்கельса и дополнительного анализатора, установленной между анализатором ячейки Фарадея и фотоприемником.

А.с. 398 153: Модулятор света, включающий в полупроводниковую структуру генерирующую в домены сильного поля, боковая поверхность или часть боковой поверхности, которая покрыта диэлектриком, отличающийся тем, что с целью расширения частотного диапазона модулируемого излучения, уменьшение потерь и увеличение коэффициента модуляции, диэлектрическое покрытие выполнено из материала с константой электрооптического эффекта большей, чем у материала полупроводниковой структуры.

#### 16.4. Магнитооптические явления.

К ним относят группу явлений, связанных с прохождением электромагнитного излучения через вещества помещенные в магнитном поле.

##### 16.4.1. Эффект Фарадея.

Если линейно-поляризованный свет проходит через вещество помещенное в магнитное поле, вектор напряженности которого совпадает с напряжением 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 он 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 отличии от естественного вращения поляризации в некоторых веществах. Диамагнетики в магнитном поле всегда обнаруживают положительное вращения (т.е. вращение по часовой стрелке, если смотреть по направлению поля), пара и ферромагнетики - отрицательные.

А.с. 491 916: Позиционно-чувствительный датчик с магнитооптической модуляцией, содержащий поляризатор, анализатор и

ячейку Фарадея, отличающийся тем, что с целью повышения чувствительности, магнитооптический активный элемент ячейки Фарадея выполнен из составных двух частей, например, призм с противоположным по знаку постоянными Верде, расположенных в 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 (8).

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.

А.с. 412 698: Оптический квантовый генератор, содержащий задающий генератор, оптический квантовый усилитель и установленные между ними согласующее устройство, отличающееся тем, что с целью улучшения однородности пучка без уменьшения его мощности, согласующее устройство выполнено в виде расположенного между двумя поляризаторами элемента, обладающего измеряющейся по радиусу вращательной способностью.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что в качестве названного элемента использован вращатель Фарадея, выполненный в виде цилиндра из свинцового стекла установленного в соленоиде.

А.с. 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 невзаимных элементов т.е. устройств, пропускающих излучение только в определенном направлении (6).

Оптический вентиль состоит из двух поляризаторов, скрещенных под углом 45 градусов и элемента Фарадея, помещенного между ними. Элемент рассчитан так, что вращая плоскость поляризации света на 45 градусов, и свет проходит через второй поляризатор. Луч, идущий в обратном направлении, вращается в ту же сторону, что и прямой луч и оказывается повернутым на 90 градусов относительно первого поляризатора, и значит не пропускается им. В частности такие вентили используют в лазерах

бегущей волны и в оптических усилителях.

В СВЧ-технике для создания вентиляей, фазовращателей и циркуляторов широко исполуют эффект Фарадея на ферритах, которые практически прозрачны для электромагнитных волн этого диапазона (дици-сантис и миллиметровые радиоволны).

16.4.2. Существует и так называемый обратный эффект Фарадея - возникновение в среде магнитного поля под действием мощного циркулярнополяризованного света, вызывающего циркулярное движение электронов (1).

16.4.3. Частным случаем эффекта Фарадея является магнитооптический эффект Керра - при отражении под любым углом, в том числе и по нормали к поверхности, линейнополяризованного света от намагниченного ферромагнетика возникает эллиптичнополяризованный 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 ферромагнетика, в которой использование магнитооптического эффекта Керра позволяет снимать кривые намагничивания и дистеризиса на участках поверхности размером 1 мк<sup>2</sup>. (приборы и техника эксперимента, 1973, нр-5, стр. 215-217)

16.4.4. При распространении света в веществе перпендикулярно магнитному полю возникает двойное лучепреломление, величина которого пропорциональна квадрату напряженности магнитного поля. (эффект Коттона-Муттона).

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, а в технике применяется редко.

Механизм всех магнитооптических явлений тесно связан с механизмом прямого и обращенного эффекта Зеемана.

16.4.5. Прямой (обращенный) эффект Зеемана состоит в расщеплении спектральных линий испускаемого (поглощаемого) излучения под действием магнитного поля на излучающее (поглощающее) вещество. При этом неполяризованное излучение с частотой направления поля расщепляется на два компонента (линии) с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , первая из которых поляризована по левому кругу, а вторая по правому. В направлении же перпендикулярном поля расщепление имеет такой характер: имеется при линейно-поляризованные компоненты с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .



Крайние компоненты поляризованы перпендикулярно магнитному полю средние же, с неизменной частотой поляризованы вдоль поля и по интенсивности вдвое превосходят 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.

ФРГ патент 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, создается два луча с противоположной круговой поляризацией. Предусмотрено устройство, которое обеспечивает поступательное движение только одного такого луча в каждом направлении вдоль оптического контура.

США патент 3 796 499: Аппарат предназначен для реализации способа определения концентрации парамагнитного материала в газовой смеси. Образец смеси подвергают воздействию магнитного поля средней напряженности и освещают лазерным излучением постоянной частоты. Магнитное поле энергетическими уровнями в парамагнитном материале до величины, соответствующей условию резонанса лазерным излучением. Для количественной корреляции вариации интенсивности лазерного излучения, проходящего через смесь, как функция напряженности магнитного поля используют стандартные процедуры детектирования. В случае окиси азота способ достаточно чувствителен, чтобы обнаруживать концентрации, значительно меньше, чем одна часть на миллион.

В заключении отметим, что механизм эффекта Фарадея, по сути дела, обусловлен обращенным эффектом Зеемана. Им же объясняется избирательное поглощение радиоволн парамагнитными телами, помещенными в магнитное поле (см. "Электронный парамагнитный резонанс") (1,6,7,9).

16.5. Существует ряд явлений, при которых оптическая анизотропия в среде вызывается воздействием из нее энергии светового излучения. К ним относится эффект фотодихроизма, а также поляризация люминесценции.

16.5.1. Дихроизм - это зависимость величины поглощения телами света от его поляризации. Это свойство, в той или иной мере, присуще всем поглощающим свет веществам, обладающим ани-

зотропной 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 обнаруживает не только кристаллы но и многочисленные некристаллические тела, обладающие естественной или искусственно созданной анизотропией (молекулярные кристаллы, растянутые полимерные 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 коэффициент их поглощения. Поляризованный свет преимущественно взаимодействует с молекулами определенной ориентации, что и приводит к появлению анизотропии поглощения (1)

16.5.2. Естественная оптическая активность. Кроме сред с линейным дихроизмом (т.е. с различным поглощением света, обладающего различной линейной поляризацией) существуют среды, обладающие циркулярным дихроизмом, по разному поглощающие правоциркулярно-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 концентраций различных растворов сахариметрии.

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 оптич. (левостороннее или правостороннее) зависят от природы вещества. Это связано с существованием веществ в двух зеркальных формах - левой и правой (свойство асимметрии) (1), (2), (5).

16.6. Поляризация при рассеивании 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 (см. "Поляризация"), а вовсе не анизотропия и ориентация молекул, что лишь препятствует полной поляризации рассеивания света.

Поляризация при рассеивании - единственный метод поляризации рентгеновского излучения (1).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н.Д.Жевандров. Анизотропия и оптика. М., "Наука",1974
2. Г.С.Ландсберг, Оптика. М., "Наука", 1976
3. У.Шерклиф, Поляризованный свет. М., "Мир",1965
4. М.Фрахт, Фотоупругость,т.1-2. М.,1950
5. А.Вайсбергер, Физические методы в органической химии, пер. с англ. т.5, М., 1957
6. Квантовая электроника, изд. "Советская энциклопедия", М.,1969
7. Р.Дитчберн,Физическая оптика, пер. с англ.,М.,1965
8. Г.Иос,Курс теоретической физики, "Учпедгиз", М.,1963
9. М.Борн, Атомная физика, пер. с англ., М.,1965
10. А.с. 154680, 178905, 243872, 268819, 391672, 416595, 474724

США патенты 3588214, 3558215, 3558415, 3588223, 3811778

Великобритания, заявка 1354509

ФРГ заявка 2333242

Франция, заявка 22099357

## ЭФФЕКТЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ.

До сих пор мы рассматривали оптические явления в предположении, что интенсивность (вт. см<sup>2</sup>) световой волны никак не влияет на физику явления. Так оно и было до тех пор, пока в оптике оперировали со световыми волнами, напряженность электрического поля которых была пренебрежительно мала по сравнению с внутренним электрическим полем ( $10^9$  в девятой степени в/см), определяющим силы связи оптического электрона с ядром атома. Однако, с появлением лазеров, опыта со световыми пучками, ин-

тенсивность которых достигает  $10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup>, (электрическое поле световой волны соизмерно с внутриатомным, показали, что существует сильная зависимость характера оптических эффектов при достижении некоторых пороговых значений интенсивности.

Оптические эффекты, характер которых зависит от интенсивности излучения называют нелинейными. Далее мы приведем некоторые из них.

### 17.1. 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 интенсивности падающего излучения составляет лишь  $10^{-6}$  в минус шестой степени.

При увеличении интенсивности падающего излучения выше порогового значения происходит следующее. Под действием электрического тока из-за явления электрострикации возникают импульсы избыточного давления, достигающие в поле лазерного луча десятков атмосфер. Возникает акустическая волна давления (гиперзвук,  $10^{10}$  в 10-ой степени 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. Описанный эффект называется вынужденное рассеяние 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 и комбинационное рассеяние (см. "Поглощение и рассеяние"). При вынужденном комбинационном рассеянии 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 лазеров в камере со сжатым водородом, когда интенсивность достигает пороговой величины около  $10^8$  в 8-ой степени Вт/см<sup>2</sup>, число компонент в рассеянном излучении настолько возрастает и их интенсивность нас-

только 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 (ВКР и ВРМБ) применяется, в основном, для последования структуры и свойств вещества, для изучения нелинейных процессов в средах. Используется также для накачки полупроводниковых ОКР, для управления параметрами твердотельных ОКГ. Может использоваться для создания преобразователей частоты мощного когерентного света в ультрафиолетовой, видимой и особенно инфракрасной областях спектра

### 17.2. Генерация оптических гармоник.

При рассеянии интенсивного лазерного излучения в жидкостях и кристаллах, помимо описанных выше боковых спектральных компонент, обнаруживаются компоненты с частотами, в точности кратными частоте падающего излучения (двухкратными, 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).

### 17.3. Параметрическая генерация света.

Поместим нелинейный кристалл 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, частота которых равна 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 могут 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.

ФРГ патент 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 или регулируются по фазе одновременно.

Нелинейный кристалл расположен внутри оптического резонатора и подвергается не только электрооптической модуляции, но и регулировке по температуре с целью подстройки частоты.

#### 17.4. 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 действием 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 широкое применение в лазерной технике, где он используется для модуляции добротности оптических резонаторов с помощью просветляющихся под действием мощного излучения светофильтров. Кроме того, эффект насыщения используется для создания инверсии населенностей в трехуровневых квантовых системах.

#### 17.5. 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. Некая 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 энергий 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.

### 17.5.1. Многофотонный фотоэффект.

Эффект состоит в том, что при высокой интенсивности светового поля ионизация атомов может производиться под воздействием излучения, для которого энергия кванта меньше энергии ионизации. Это объясняется тем, что происходит одновременное поглощение нескольких фотонов, сумма энергий которых больше энергии ионизации атомов. Здесь просматривается некая аналогия с антистоксовской люминесценцией (см. "Люминесценция"). Следует отметить, что, например, для двухфотонного фотоэффекта величина тока в фотоэлементе пропорциональна квадрату мощности лазерного излучения.

### 17.6. 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, вообще 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.Аскорьяну (открытие - 67).

Физические причины этого эффекта заключаются в изменении показателя преломления среды в сильном световом поле. В это изменение вносит свой вклад также эффекты, как электрострикция, высокочастотный эффект Керра и изменение преломления среды за счет ее нагрева в световом пучке. Вследствии 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 самоканализация, переходящая в самофокусировку при превышении критической мощности пучка. Процесс самофокусировки выделяется среди прочих нелинейных эффектов тем, что он обладает "лавиным" 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 не велики (для ниробензола - 25 квт, для некоторых сортов оптического стекла - 1 вт), что создает реальные предпосылки использования описанного эффекта для передачи энергии на значительные расстояния.

Интересно, что при самофокусировке излучение импульсных лазеров в органических жидкостях пучок после "охлопывания" распространяется не в виде одного пучка, а распадается на множество короткоживущих ( $10^{-10}$  в минус 10-ой степени сек.) узких (мкм) областей очень сильного светового поля (около  $10^7$  в 7-ой степени 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 (скорости порядка  $10^6$  в 6-ой степени м/сек.) в сочетании с абберациями "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 т.н. "лазерной искры", светогидравлический удар, нелинейное отражение света и другие. Некоторые из эффектов уже нашли применение не только в научных исследованиях, но и в промышленности. Так например, светогидравлический удар (см. "Гидравлические удары") применяется при штамповке, упрочнения материалов, для ударной сварки и т.д., что наиболее себя оправдывает в производстве микроэлектроники, в условиях особо чистых поверхностей.

#### 17.7. Светогидравлический удар (открытие - 65)

Эффект заключается в том, что при пропускании мощного лазерного излучения через жидкость в ней возникают акустические волны с высоким давлением, достигающим 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, связанное с ВРМБ (см. 17.1) и усиленное поглощение света образующейся плазмой, что приводит к возникновению ударной волны и затем к авитации в жидкости. Предварительная фокусировка лазерного пучка и введение в жидкость поглощающих добавок значительно усиливают проявления эффекта.

#### 17.8. Нелинейная оптика.



Нелинейная оптика - новая и постоянно развивающаяся наука. Многообразие ее эффектов далеко не исчерпано известными ныне. Так, совсем недавно были предсказания 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 эффектов 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 фиксирования), когда она достигает определенного значения, может произойти скачок от прохождения к полному внутреннему отражению, 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 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.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Квантовая электроника, Маленькая энциклопедия, изд. Советская энциклопедия, М., 1966.
2. Н.Бломберген, Нелинейная оптика, пер. с англ., М., 1966
3. М.Шуберт, В.Вильгельми, Введение в нелинейную оптику пер. с нем. "Мир", М., 1973.
4. Ф.Цернике, Дж.Мидвинтер, Прикладная нелинейная оптика, пер. с англ., "Мир", М., 1976
5. Ю.П.Конюшая, Открытия и научно-техническая революция, "Московский рабочий", М., 1974
6. Г.А.Аскарьян, ЖЭТФ, 42, 1567, 1962
7. А.Ю.Каплан, Письма в ЖЭТФ, 9, 58, 1969
8. А.К.Каплан, Письма в ЖЭТФ, том 24, вып. 3, 1976

## ЯВЛЕНИЯ МИКРОМИРА.

### 18.1. 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 большей точностью следить за перемещением этого вещества или изучать его внутреннюю структуру.

А.с. 234 740: Способ определения концентрации пылевых частиц с осаждением этих частиц в осадительном устройстве, отличающийся тем, что с целью расширения диапазонов 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.

А.с. 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, фояфора или серы, и проводят радиометрические измерения исследуемого объекта.

### 18.2. Рентгеновское и гамма излучения.

Рентгеновское излучение, открыто в 1895 году физиком Рентгеном, имеет ту же электромагнитную природу, что гамма излучение испускаемые ядрами атомов радиоактивных элементов, поэтому оба вида излучения подчиняются одинаковым закономерностям при взаимодействии с веществом. Принципиальная разница между двумя этими видами излучения заключается в механизме их возникновения. Рентгеновское излучение - внеядерного происхождения, гамма излучение - продукт распада ядер.

18.2.1. Рентгеновское излучение возникает либо при торможении заряженных частиц (электронов) высокой энергии в веществе (сплошной спектр) (см. 18.4.3. "Тормозное излучение"), либо при высоко-энергетических переходах внутри атома (линейчатый спектр). Недавно установлено, что рентгеновское излуче-

ние может также возникать в результате явления адгезолюминесценции, которая 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 сотни тысяч электрон вольт. Электроны, разогнанные в миниконденсаторе, тормозятся, затем в веществе, испуская при этом рентгеновское излучение.

18.2.2. Рентгеновские лучи применяют для просвещения различных веществ с целью выявления скрытых эффектов. При деформации неподвижного микрокристалла, 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; занимающееся просвечиванием твердых тел с целью установления размера и места нахождения эффекта внутри материала;

- рентгеновскую спектроскопию рентгено-спектральный анализ. Основная цель - исследование электронного строения веществ по их рентгеновским спектрам. Области применения - исследования химического строения веществ, технологические процессы горнорудной и металлургической промышленности

- рентгеновскую микроскопию широко применяющихся для исследования объектов непрозрачных для видимого света и электронов (биология, медицина, минералогия, химия, металлургия).

А.с. 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, поперек оси перемещения исследуемого передвигают источник гамма излучения с детектором, регистрирующим интенсивность прошедшего через равные участки тела гамма излучения.

18.3. Взаимодействие рентгеновского и гамма излучения с веществом происходят посредством трех основных процессов: фотоэлектрического поглощения (фотоэффекта), рассеяния и эффекта образования пар.

#### 18.3.1. Фотоэффект. (см. так же 14.1.1.)

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 внешних оболочек. Переход электронов на более близкую к ядру оболочку сопровождается испусканием кванта характеристического излучения, которое можно зарегистрировать, например, фотоэмульсией.

США патент 3 580 745: Способ и устройство для маркировки банок в контейнере путем облучения чувствительной эмульсией. Перед упаковкой с транспортной картонный контейнер, торцы каждой банки покрывают чувствительной к облучению эмульсией. Банки, упакованные в контейнер облучают рентгеновскими или гамма-лучами. При этом, покрытие 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 ( $E < 0,5 \text{ МэВ}$ ) фотоэлектроны вылетают преимущественно в направлениях, перпендикулярных направлению распространения излучения. Чем выше энергия квантов, тем ближе к их первоначальному направлению движение выбрасываемых фотоэлектронов. Процесс образования фотоэлектронов приводит к ионизации облучаемого вещества, что находит большее применение для интенсификации различных технологических процессов.

А.с. 241 010: Способ получения политокарбонилфторида полимеризацией тиокарбонилфторида, отличающийся тем, что с целью упрощения процесса и получения более чистого полимера, полимеризацию осуществляют под действием гамма излучения  $\text{Co } 60$ .

А.с. 375 295: Способ получения алтилгалогенидов германия взаимодействия четырехгалогенида германия с триалкалгерманием при нагревании, отличающийся тем, что с целью увеличения выхода и чистоты целевого продукта, процесс ведут при гамма облучении.

### 18.3.2. Рассеяние рентгеновского и гамма излучения.

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, в отличие от фотоэффекта, квант передает электрону не всю энергию, а только ее часть, отклоняясь при этом от своего первоначального направления в некоторый угол  $\alpha$  электрон, получивший некоторое количество энергии, начинает двигаться под углом  $\theta$  к направлению движения рентгеновского или гамма-кванта. В результате комpton-эффекта появляется рассеянный квант большей длиной волны, изменивший первоначальное направление, и электрон отдачи (комptonовский электрон), получивший часть энергии кванта. Комptonовские электроны характеризуются непрерывным спектром от ничтожно малых значений до максимальной величины (если они выбрасываются в направлении движения кванта).

18.3.3. В случае, если энергия кванта сравнима с энергией связи электрона в атоме, происходит когерентное рассеяние квантов. 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.

А.с. 120 675: Способ определения угла смачивания и поверхностного или межфазового натяжения непрозрачных систем при высоких температурах фотографирование контура, которое осуществляется в пучках мягких гамма лучей полученных от радиоактивных изотопов, например иридин, 192, тулия 170 или европия 154 или 156.

### 18.3.4. Эффект образования пар.

При взаимодействии с атомами ядра кванты рентгеновского и гамма излучения достаточно высокой энергии (не менее 1,02 МэВ) вызывают одновременное появление

электронов и позитронов. Процесс образования электронно-позитронных пар происходит в поле атомного ядра или поле электрона. 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.

#### 18.4. Взаимодействие электронов с веществом.

Различают следующие виды взаимодействия: упругое и неупругое рассеяние электронов на атомных ядрах и электронных оболочках и торможение электронов в кулоновом поле атомных ядер.

18.4.1. Упругое рассеяние имеет место при таких столкновениях, при которых происходят лишь изменения 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. Вследствии малой массы электронов они отклоняются на углы от 0 градусов до 180 градусов, 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.

США патент 3 560 742: Портативное устройство для измерения обратно рассеянного фета-излучения предназначено для эффективных измерений толщины покрытия обрабатываемой детали. 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 укосина предназначен для удержания зондирующего элемента в плотном контакте с поверхностью обрабатываемой детали, т.е. в положении измерения толщины покрытия нанесенного на поверхность обрабатываемой детали.

18.4.2. 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 этом и другом случае воздействующий электрон теряет свою энергию. Большая часть вторичных электронов обладает незначительно кинетической энергией. Процесс возбуждения сопровождается испусканием характеристического излучения. Процесс неупругого

рассеяния, поскольку он сопровождается ионизацией может использоваться для интенсификации различных технологических процессов:

Патент СНГ 454 752: Способ приготовления пульпы из древесной щепы путем облучения древесной щепы с последующей варкой, отличающийся тем, что с целью повышения выхода пульпы и улучшения ее качества, облучение щепы производят электронами дозой не менее 1,0 Мрад.

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 пластина. При этом между источником бета-электронов и коллекторной пластинкой поддерживается определенная разность потенциалов, под действием которой ионизированные молекулы кислорода отделяются от молекул других газов и ударяются о коллекторную пластину. Концентрация кислорода выхлопных газов определяется путем измерения заряда, накапливающегося на коллекторной пластинке.

#### 18.4.3. 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.

#### 18.4.4. Совместные действия 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: радикалами, возбужденными молекулами, возбуждение или диссоциация которых приводит к химическим превращениям. Например, вещества: твердые растворы бензола и нафталина в метилцикло-

геоане и этаноле.

### 18.5. 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 (урана, плутония) осуществляемые в ядерных реакторах. По кинетической энергии нейтроны делятся 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 насыпном материале, содержит источник излучения, облучающий влажный насыпной 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 насыпного материала; оба сигнала от детектора поступают на электрическую схему, с целью получения сигнала, скоррелированного с весовым процентным содержанием влаги в материале.

Патент США 3 558 888: Способ нейтронного каротажа скважин для измерения количества нефти в зоне скважин, пробуренной в земной породе, с использованием радиоактивного излучения, согласно которому измеряется поперечное сечение захвата тепловых нейтронов в буровом растворе; Величина этого сечения определяется содержанием воды в этой геологической формации, а количество нефти, содержащееся в зоне скважин измеряется как функция макроскопического поперечного захвата тепловых нейтронов в породе.

Патент США 3 562 523: Способ определения содержания остаточных масел в формации после подачи воды или заводнения нейтронного пласта состоит в измерении распада тепловых нейтронов сначала при наличии воды, содержащейся в данной формации, а затем после замены этой воды водой, которая имеет существенно отличающееся сечение захвата и которая берется из зоны,



содержащей по крайней мере, в радиусе действия регистрирующего инструмента.

18.5.1. При очень интенсивном облучении быстрыми нейтронами различных веществ наблюдается так называемые явления нейтронного раскупания - увеличение объема вещества, что может быть использовано, например, для правки массивных металлических деталей (А.с.395147) или в устройствах для измерения деформации ядерного горючего (заявка Великобритании 1359759) (см. 2,3).

## 18.6. Взаимодействие альфа-частиц с веществом.

Альфа-частицы (ядра гелия 4) 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.

А.с. 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 чувствительной и разрешающей способности, сразу после прекращения облучения пробы измеряют наведенную активность пробы и по соотношению измеряемых величин суммарного характеристического излучения алюминия и кремния и наведенной активности судят о концентрации алюминия и кремния в пробе.

### 18.6.1. Эффект увеличения коррозионной стойкости металлов.

Если металлическую пластину облучать в течении нескольких минут альфа-частицами, то в силу короткого пробега частицу 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 (см. раздел 1.3.1.) перестройкой структуры поверхностного слоя и удалением паров воды.

## 18.7. 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 наибольшее термолюминесценция, совпадает с температурой структурных переходов (плавления, размягчения и т.д.). Это явление (открытие - 1968) позволило создать новый эффективный метод исследования вещества.

А.с. 381 983: 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 РТД, заключается в следующем: образец исследуемого органического вещества облучают при низкой температуре (77-100 градусов К) 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 температуры структурного перехода. Затем образец плавно нагревают 10-20 градусов С в минуту. Свечение образца регистрируют с одновременной регистрацией температуры. Получают зависимость интенсивности РТД от температуры - кривую высвечивания. Пики, изломы кривой, их высота и ширина несут информацию об исследуемом веществе и прежде всего, позволяют оценить температуру структурных переходов. Абсолютная точность определения достигает около 1 градуса (см. 15.6.)

#### 18.8. 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 энергии отдачи атома. При Мессбауэровском процессе отдача атома вообще не имеет места (не происходит возбуждение фонона), и 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 позволило разработать ряд методов для технического экспресс анализа веществ, содержащих Мессбауэровские ядра.

А.с. 297 912: Способ фазового анализа руд, содержащих Мессбауэровские элементы спектр которых частично перекрываются, основанные на резонансном гамма-поглощении, отличающийся тем, что с целью повышения эффективности измерений при анализе, последовательно определяют величину эффекта Мессбауэра на исследуемой руде с разными источниками, число которых равно числу соединений в руде и мессбауэровские спектры коорорых совпадают со спектрами соединений в руде, сопоставляют с результатами калибровки и по совокупности величин эффекта мессбауэра определяют содержание исследуемых соединений в руде.

А.с. 446 007: Способ фазового анализа вещества, включающий измерение эффекта Мессбауэра по линии спектра, соответствующей исследуемой фазе и последующее определение содержания фазы с помощью градуировочной зависимости, отличающийся тем, что с целью повышения точности и чувствительности анализа, измеряют эффект Мессбауэра на исследуемой линии в присутствии фильтра полного резонансового поглощения со спектром, не перекрывающимся с линией определяемой фазы, и эффект Мессбауэра на линии спектра упомянутого фильтра в присутствии исследуемого образца и по отношению измеренных эффектов определяют содержание исследуемой фазы.

Применение эффекта Мессбауэра для контроля железной руды при ее магнитном обогащении и использованием в качестве источника гамма-излучения кобальта-57 позволяет быстро и надежно определять содержание железа в рудном порошке, что способствует повышению качества железного концентрата.

#### 18.9. Электронный парамагнитный резонанс (открытие-85).

"Установлено неизвестное ранее явление квантовых переходов между электронными энергетическими линиями парамагнитных тел под влиянием переменного магнитного поля резонансной частоты (явление электронного парамагнитного резонанса - ЭПР)"

Суть явления: постоянно в 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 в переменном (высокочастотном) магнитном поле.

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 магнитоупорядоченной структуре ферромагнетика (или антиферромагнетика) (см. 8.7.).

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 не заменим при изучении радиационных изменений в структурах, в том числе и в биологических. Чувствительность метода очень высока и составляет  $10^{-10}$  в 10-ой и  $10^{-11}$  в 11-ой парамагнитных молекул. На применении ЭПР основан поиск и проверка новых веществ для квантовых генераторов; явление ЭПР используется для генерации сверхмощных субмиллиметровых волн.

А.с. 292 101: Способ текущего контроля условной вязкости гудронов и жидких битумов, отличающийся тем, что с целью непрерывности определения пропускают контролируемую струю по трубопроводу через резонатор спектрометра ЭПР и регистрируют условную вязкость по амплитуде линии спектра парамагнитного поглощения.

А.с. 510 203: Способ определения поля у огурцов путем исследования семян, отличающийся тем, что с целью повышения производительности труда в селекционном процессе, измеряют активный сигнал электронного парамагнитного резонанса и определяют характер люминесценции семян по величине сигнала и интенсивности свечения судят о степени выраженности и принадлежности к полу: при величине активного сигнала электронного парамагнитного резонанса 0,66-0,68 относительных единиц и слабым свечением растения будут преимущественно мужского типа, а при сигнале 0,48-0,56 относительных единиц и интенсивном свечении - женского типа.

А.с. 516 643: Способ оценки стабильности пластичных сма-

зок путем сравнения свойств исходной и проработавшей в узле трения смазки, отличающийся тем, что с целью сокращения времени проведения испытаний микроколичеств смазки, в исходную и проработавшую смазки вводят стабильный радикал, снимают спектр ЭПР, определяют частоты вращательной диффузии радикала и по их отношению оценивают стабильность смазки.

#### 18.10. Ядерный магнитный резонанс (ЯМР).

Парамагнетизм вещества может быть обусловлен не только строением электронных оболочек атомов, но и магнетизмом ядер. Магнетизм ядер, также, как и магнетизм оболочек, может вызвать резонансное поглощение энергии в твердом, жидком или газообразном состоянии. Резонансные частоты метода ЯМР лежат в области 1-100 МГц, чувствительность метода составляет от  $10^{17}$  в 17-ой степени до  $10^{21}$  в 21-ой степени 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 углерод-13, что предопределило применение ЯМР и его разновидности - ядерного квадрупольного резонанса - в химии углеродов, особенно природных (нефть).

А.с. 178 511: Способ измерения расхода жидкостей, основанный на явлении ЯМР, отличающийся тем, что с целью измерения расхода жидкости, обладающих сильным сигналом магнитного резонанса используют свободную процессию ядер в магнитном поле земли.

А.с. 344 275: Способ измерения расхода жидкости по А.с. 179511, отличающийся тем, что с целью упрощения устройства измеряют скорость затухания сигнала ЯМР при движении жидкости в неоднородном магнитном поле и по ней судят о расходе.

А.с. 550 669: Способ измерения проницаемости пористых материалов, основанный на явлении ограниченной самодиффузии молекул жидкости, включающий ядерно-магнитные резонансные измерения с импульсным градиентом магнитного поля, причем интервал времени между импульсами градиента устанавливают больше, чем время, необходимое для диффузии молекул на расстояние, равное размеру пор в образце, измеряют сигнал эха образца, отличающийся тем, что с целью получения достоверного значения проницаемости увеличивают интервал времени между импульсами градиента при фиксированной их амплитуде, повторяют измерение амплитуды сигнала эха и по зависимости амплитуды эха от интервала между импульсами градиента судят о проницаемости.

#### 18.11. 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 образце с парамагнитными ядрами наблюдается значительное увеличение интенсивности ЯМР (Оверхаузер 1953). Этот эффект был использован для разработки метода динамической поляризации ядер; вещество с поляризованными ядрами очень чувствительно как к величине магнитного поля, так и ее изменению. Это свойство и лежит в основе практически: применений эффекта.

Патент США в 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 Обрхаузера-Абрагама, и выдает выходной сигнал, который усиливается и подводится к одному из входов 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 фильтром ядерного фильтра (с перекрещивающимися или параллельными катушками). Разность фаз находится в прямой зависимости от разности между полями.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

18.6. А.Хирный и др., Эффект увеличения коррозионной стойкости металлов, облученных ионами гелия. Доклады АН СССР, Т.214, НР-1, 1974.

18.7. Л.Мельников. Свет из ловушки. "Химия и жизнь", нр-1, 1976

18.8. В.И.Гольданский. Эффект Мессбауэра и его применение в химии, изд. АН СССР, 1964

А.с. 181752, 247424, 297912, 346693.

18.9. Парамагнитное поглощение звука, УФН, 1961, Т.75, нр-3

Дж.Пейк. Парамагнитный резонанс. М., "Мир", 1965

18.10. И.В.Александров, Теория ядерного магнитного резонанса. М., 1964

А.Абрагам. Ядерный магнетизм. М., ИЛ, 1963

А.Каррингтон и др. Магнитный резонанс и его применение в химии. М., "Мир", 1970

18.11. Г.Хуцишвили. УФН., 1960, т.71.

## РАЗНОЕ

В этом разделе даются краткие сообщения о некоторых эффектах, по какой-либо причине невошедшие в предыдущие главы "Указателя". В некоторых случаях это объясняется несовершенством принципа, положенного нами в основу систематизации физических эффектов, в других - эффекты привлекли наше внимание уже после написания основных разделов, некоторые эффекты вообще трудно было назвать физическими, как например, эффект Мебиуса. Тем не менее, многие из них, по нашему мнению, могут с успехом использоваться в изобретательской практике.

### 19.1. 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 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 находящееся 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.

А.с. 261 400: Способ зарядки частиц, заключающийся в том, что при помощи коронного разрядника, 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 проявления термофоретических сил заряженные частицы аэрозоля не могут осаждаться в области плазмы коронного разряда.

## 19.2. Фотофорез.

Если аэрозоль осветить интенсивным направленным пучком света, то аэрозольные частицы начинают совершать упорядоченные движения, причем некоторые из них в направлении распространения света (положительный Ф.Ф.), а другие навстречу ему (отрицательный Ф.Ф.). Наиболее сильно Ф.Ф. проявляется на окрашенных частицах. Тип Ф.Ф. 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 Ф.Ф. Так, для мелких частиц основным фактором является световое давление, оно и обуславливает в данном случае положительный фотофорез.

19.2.1. Интенсивное явления обнаружено в аэрозолях селеновой и железной пыли. В этих системах под влиянием светового потока аэрозольные частицы начинают двигаться в направлении перпендикулярном направлению распространения света.

## 19.3. 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.

А.с. 515 936: Способ определения окружных люфтов трансмиссий с ведомым и ведущими валами, заключающийся в том, что на ведомом валу наносят 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 неподвижно 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 частоты 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 тел.

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 светового восприятия - инерционность, глаз как бы "видит" изображение предыдущего



кадра некоторое время после того, как экран погас.

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.

А.с. 255 684: 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 ультразвуковых волн, освещаемых 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 заключении отметим, что стробоскопический эффект является ярким проявлением закона согласования ритмики частей системы.

#### 19.4. Муаровый эффект.

При наложении двух систем контрастных полос возникает узор, образованный их сгущениями в местах, где полосы одной системы попадают в промежутки между полосами другой системы. Возникновения 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.

19.4.1. Муаровый узор образуется также при наложении двух непересекающихся систем равноудаленных параллельных линий, когда величина шага 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 миллионы раз) разницы в ширине промежутков между линиями. Иначе говоря муаровый эффект дает возможность визуально без применения оптических систем, обнаруживать ничтожные отклонения в почти одинаковых периодических структурах. В настоящее время метод муара широко применяют при контроле точности делительных устройств для изготовления дифракционных решеток.

19.4.2. Муар возникает на электронной микрофотографии двух кристаллов, наложенных таким образом, что их атомные решетки почти совпадают. Любой дефект нарушающий регулярность структуры кристалла, четко проявляется в муаровом узоре. Увеличение при этом таково, что позволяет видеть смещения атомов, величины которых меньше диаметра самого атома.

19.4.3. 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.

А.с. 297 861: 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 и скорости перемещения муаровой полосы и по величине этого отношения судят о величине деформаций.

Описанное проявление муарового эффекта издавна используется во всех измерительных приборах, обладающих нондусом, таких, как микрометр или штангенциркуль.

19.4.4. С помощью эффекта муара можно визуализировать ничтожные изменения показателя преломления прозрачных сред, помещая их между решетками. Так, например, можно визуальным образом изучить динамику растворения двух веществ.

19.4.5. Этот же принцип позволяет производить экспресс-анализ качества оптических деталей. Линзы помещают между решетками, наличие выпуклой линзы увеличивает элементы муарового узора, вогнутой - уменьшают. При этом обе линзы поворачивают узор в противоположных направлениях на угол, пропорциональный фокусному расстоянию. В местах неоднородностей структуры или формы линз линии узора искажаются.

Еще пример контроля оптики!

А.с. 515 937: Интерференционный способ измерения клиновидности оптических прозрачных пластин, заключающийся в том, что пучок света от лазера фокусирует с помощью объектива в плоскость отверстия в экране, за которым устанавливают контролируемую пластину, отличающийся 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°, накладывают интерференционную картину на

копию и по ширине муаровых полос, образовавшихся от наложения, измеряют клиновидность платины.

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, интерференция 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 быстровращающихся деталей, при анализе обтекания тел поверхностным слоем жидкости в медицинских исследованиях анатомического характера.

Универсальность метода муара, простота преобразования с его помощью различных величин, близка к ИКР, высокая разрешающая способность - все это говорит о том, изобретатели еще не раз обратятся в своей практике к муаровому эффекту.

#### 19.5. Высокодисперсные структуры.

Одной из тенденций развития технических систем является увеличение степени дисперсности входящих в них веществ. При этом наблюдаются качественные изменения свойств дисперсной структуры по сравнению со свойствами монолитного нераздробленного вещества.

Высокодисперсные структуры подразделяются на сыпучие, консолидированные и коллоидные. Из сыпучих порошков особый интерес представляют ферромагнитные порошки, так как ими легко управлять магнитным полем (1), и их можно вводить в виде индикаторных добавок в немагнитные вещества с целью выяснения условий действующих внутри исследуемого вещества (температуры, давления и т.п.).

А.с. 239 643: Способ определения степени затвердевания полимерного состава. В полимер в небольшом количестве вводят ферромагнитный порошок. Полимер затвердевая сдавливает частицы порошка, который при этом меняет свои магнитные свойства, что легко обнаружить.

19.5.1. Консолидированные тела - это тела, полученные путем прессования или спекания мелкого порошка (размеры частиц от 10 до 100 мкм). Консолидированные тела обнаруживают много интересных свойств (2), отличающих их от сплошного тела, состоящего из того же вещества. Например, при консолидации порошка путем прессования можно получить анизотропные тела, несмотря на то, что вещество, составляющее частицы вещества, изотропно. Параметры такого консолидированного тела (электропроводность, теплопроводность, распространение звука, модуль упругости и т.п.) в направлении прессования выше, 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 других характеристик 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.

#### 19.6. Электрореологический эффект.

Электрореологическим эффектом называется быстрое обратимое повышение эффективной вязкости неводных дисперсных систем в сильных электрических полях (3).

Электрореологические суспензии состоят из неполярной дисперсной среды и твердой дисперсной фазы с достаточно высокой диэлектрической проницаемостью. Дисперсными средами могут служить неполярные или слабополярные органические жидкости с достаточно высоким электрическим сопротивлением (порядка 10 ом.см). Например, светлые масла (валелиновое, трансформаторное, растительные масла (косторовое), диэфиры (дибутилсебацат), нефтановые 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 вначале оста-

ется неизменной, затем падает. Вид зависимости эффекта от частоты зависит от состава дисперсной системы.

Электрореологические суспензии весьма чувствительны к изменениям температуры. Нагрев снижает абсолютную величину эффективной вязкости системы. С ростом температуры влияние электрического поля постепенно невидится.

#### 19.7. 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 электронов. Если частицы дисперсной 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 (см.12) и соответственно на катоде или на аноде осаждается слой дисперсной фазы. Это свойство используется для создания информационных табло и экранов отображения - плоских устройств для показа картин 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. конструкции муфт сцепления, тормозов и других фрикционных устройств;
3. зажимные и фиксирующие устройства ( если пленку электросвязкой жидкости нанести на тонкую пластину диэлектрика, с другой стороны которого располагаются электроды, соединенные с источником одно или трехфазного тока, то электропроводный эффект, установленный на пластине, будет жестко зафиксирован "затвердевший" пленкой при наложении достаточно интенсивного электрического поля);
4. жидкие электрогенераторы, преобразователи тока;

5. электрокинетические весы, примеры использования электрореологического эффекта подробно рассмотрены в (3).

## 19.8. Жидкие кристаллы.

Представим себе жидкость, молекулы которой имеют удлиненную палочкообразную 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 другие характеристики (например, теплопроводность) в различных направлениях, т.е. они будут анизотропной. 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 "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 относительно друг 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 являются 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.

19.8.1. Прежде всего было найдено, что воздействие электрического поля на жидкие кристаллы приводит к электрооптическим эффектам, не имеющих 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.

19.8.2. 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 приходивший 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 соответствующие напряжения, 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 микрометров позволяет получить изображение, затрачивая мощность порядка микроватт. При этом из-за тонкости слоя жидкого кристалла необходимое напряжение на ячейке составит всего несколько вольт.

19.8.3. Удивительные превращения происходят с лучом света при взаимодействии с холестерическим жидким кристаллом, т. е. 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 на сотни доли 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 который контрастными пятнами поступают любые дефекты, и неоднородности, даже скрытые далеко в структуре, благодаря неодинаковой их теплопроводности.

19.8.4. 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, повешенная на тонкую черную мембрану. Мембрана поглощает сфокусированное на ней инфра-

расное излучение и передает тепло слою жидкого кристалла. 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 излучения в видимое обычно используют преобразователи на основе фотоэмиссионных или фосфороресцирующих устройств с весьма сложной и дорогостоящей электроникой. Предельная простота и малая стоимость делает жидкокристаллические преобразователи несравненно более выгодными.

Из смеси холестерических веществ можно изготавливать температурные индикаторы в интервале температур от 20 до 250 С. Индикаторы представляют собой тонкую гибкую пленку жидкого кристалла, заключенную между двумя полимерными пленками. Такую пленку можно накладывать на поверхности деталей для регистрации температурных градиентов в различных направлениях.

19.8.5. 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. С помощью жидкого кристалла удастся установить присутствие в воздухе пара при его концентрации - несколько частей на миллион. Этот способ имеет большую практическую ценность.

## 19.9. О смачивании.(к 3.3.2.)

19.9.1. 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.

19.9.2.Эффект капиллярного "клея" - сцепление частиц, пластин и т.д.,разделенных тонкой прослойкой смачивающей жидкости. Капиллярное давление способствует повышению прочности тонкодисперсных пористых структур.



19.9.3. Теплота смачивания - выделяется при смачивании (в том числе и при избирательном смачивании). Является характеристикой имерсионного смачивания (в том числе смачивания порошков).

Используется для получения информации о свойствах тела (подложки).

19.9.4. 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 .

Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М., "Химия", 1976

Дерягин Д.В. Свойства тонких жидких слоев и их роль в дисперсных системах. М., Издат-во Всесоюзного совета научно-инж. и техн. о-в, 1973.

19.10. Если взять бумажную ленту, облизать ее противоположные концы так, чтобы получилось кольцо, а затем развернуть один из концов на 180 градусов и склеить ее друг с другом, то мы получим т.н. кольцо Мебиуса, тело, обладающее очень интересным свойством. Можно ли одновременно находится и снаружи и внутри кольца? Явное физическое противоречие. Однако, оно легко преодолевается, если это кольцо - кольцо Меблуса, это тело имеет лишь одну неверность, и потому, например, муравей, ползущий по внутренней поверхности нашего бумажного кольца, не переползая через край полоски, может оказаться на "наружной" поверхности кольца. Кольцо Меблуса не одинаково среди подобных тел, так, например, существует и "одноповерхностная" бутылка.

А.С.Н.444682 Устройство для формирования детали из полимерных материалов, например, мембран из провинуилта, содержащее замкнутую ленту с формирующими элементами, натянутую на барабан, ведущий из которых снабжен нагревателем и направляющее ролики, отличающееся тем, что, с целью повышения долговечности ленты, они выполнены в виде ленты Меблуса с формирующими элементами на двух ее сторонах.

см.так же А.С.Н 446011

19.11. Обработка магнитными электрическими полями.

Омагничивание воды. Это словосочетание прочно вошло в изобретательскую практику. И неважно, что до сих пор нет четкого объяснения изменения свойств воды после наложения на нее магнитного поля (1-3). Важно что применение этого эффекта позволяет интенсифицировать многие процессы.

А.С. N 511644. Способ изготовления люминафора 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.

А.С. N 423767. Способ обработки воды затворения 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 затворения воздействуют вращающимся магнитным полем с напряженностью 100-2000 А (СМ. при промышленной частоте эл. тока и скорости протекания воды 0,5-2,5 м/сек.)

Начали обрабатывать магнитным полем и др. вещества .

А.С. N 427953. Способ обработки композиций на основе латекса, обработанного переменным или постоянным магнитным полем, отличающийся тем, что с целью улучшения физико-мех. и тех-ких свойств мастик и клеев на основе латекса, латекс пропускают через магнитное поле напряженностью от 400 до 2000 в перпендикулярно его силовым линиям со скоростью 0,1-5,0 м/сек

В некоторых случаях в изображениях одинаково хорошо работает и магнитное, и электрическое поле.

А.С. N 484245. Способ обработки смазочно-охлаждающей жидкости, отличающейся тем, что с целью повышения стойкости режущего инструмента и повышения смазочных свойств жидкости, последнюю подвергают воздействию эл. или магн. поля.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А .

1. В. Классен .Перспективы применения магнитной обработки водных систем химической промышленности. "Химическая промышленность" N1,1974.

2. Н.И. ЛЫШАГИН К изменению свойств омагниченной воды. "Изв. высш. учеб. заведений. Физика, 1974, нр 2, стр.44-103.

3. "Изобретатель и рационализатор", 1975, нр 10, 26.

4. А.С. NN422562, 542526, 518553, 416047, 346553, 496253, 496146.

