





ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
« СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ »

ЭНЦИКЛОПЕДИИ СЛОВАРИ СПРАВОЧНИКИ

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

А. П. АЛЕКСАНДРОВ, А. А. АРЗУМАНЯН, А. В. АРЦИХОВСКИЙ,
Н. В. БАРАНОВ, А. А. БЛАГОНРАВОВ, Н. Н. БОГОЛЮБОВ,
Б. А. ВВЕДЕНСКИЙ (председатель Научного совета), Б. М. ВУЛ,
Г. Н. ГОЛИКОВ, И. Л. КНУНЯНЦ, Ф. В. КОНСТАНТИНОВ,
Б. В. КУКАРКИН, Ф. Н. ПЕТРОВ, В. М. ПОЛЕВОЙ, А. И. РЕВИН
(заместитель председателя Научного совета), Н. М. СИСАКЯН,
А. А. СУРКОВ, Л. С. ШАУМЯН (заместитель председателя Научного
совета)

МОСКВА • 1962

ФИЗИЧЕСКИЙ ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ

Б. А. ВВЕДЕНСКИЙ (главный редактор), С. В. ВОНСОВСКИЙ, Б. М. ВУЛ (главный редактор), М. Д. ГАЛАНИН, И. И. ГУРЕВИЧ, Д. В. ЗЕРНОВ, А. Ю. ИШЛИНСКИЙ, П. Л. КАПИЦА, Н. А. КАПЦОВ, В. Г. ЛЕВИЧ, Л. Г. ЛОЙЦЯНСКИЙ, С. Ю. ЛУКЬЯНОВ, В. И. МАЛЫШЕВ, В. В. МИГУЛИН, П. А. РЕБИНДЕР, Я. К. СЫРКИН, С. М. ТАРГ, Е. Л. ФЕЙНБЕРГ, С. Э. ХАЙКИН, Р. Я. ШТЕЙНМАН (зам. главного редактора), А. В. ШУБНИКОВ

ТОМ ВТОРОЙ

Е — Литий

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
«СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

РЕДАКЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКОГО СЛОВАРЯ

РЕДАКТОРЫ ОТДЕЛОВ И ПОДОТДЕЛОВ

Механика. Члены редакционной коллегии: А. Ю. ИШЛИНСКИЙ (теория упругости и пластичности), Л. Г. ЛОЙЦАНСКИЙ (гидроаэромеханика), С. М. ТАРГ (теоретическая механика). Научный редактор И. Б. НАЙДЕНОВА.

Электричество и магнетизм. Члены редакционной коллегии: С. В. ВОНСОВСКИЙ (физика магнитных явлений), Б. М. ВУЛ (общие вопросы электричества, диэлектрики и полупроводники), Д. В. ЗЕРНОВ (электронные и ионные приборы), Н. А. КАПЦОВ, С. Ю. ЛУКЬЯНОВ (электроника). Редактор-консультант Л. А. ЖЕКУЛИН (электротехника). Научные редакторы: Э. Р. ВЕЛИБЕКОВ (общие вопросы электричества), М. Н. ФЛЕРОВА (диэлектрики, полупроводники, электроника, магнетизм), С. М. ШАПИРО (электротехника, электрические измерения, электронные и ионные приборы).

Теория колебаний. Член редакционной коллегии С. Э. ХАЙКИН. Научный редактор И. Б. НАЙДЕНОВА.

Акустика. Редактор-консультант И. П. ГОЛЯМИНА. Научный редактор И. Б. НАЙДЕНОВА.

Радиофизика и радиотехника. Члены редакционной коллегии: Б. А. ВВЕДЕНСКИЙ, В. В. МИГУЛИН, С. Э. ХАЙКИН. Научный редактор С. М. ШАПИРО.

Оптика. Члены редакционной коллегии: М. Д. ГАЛАНИН (физическая оптика), В. И. МАЛЫШЕВ (прикладная оптика). Редакторы-консультанты: Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ (фотография), Н. Д. НЮБЕРГ (физиологическая оптика), Г. Г. СЛЮСАРЕВ (геометрическая оптика). Научные редакторы: С. А. КОРДЮКОВА (молекулярная оптика, спектроскопия, фотография, физиологическая оптика), И. Б. НАЙДЕНОВА (геометрическая оптика, оптические приборы).

Атомная и ядерная физика. Члены редакционной коллегии: И. И. ГУРЕВИЧ (ядерная физика), С. Ю. ЛУКЬЯНОВ (атомная физика). Редакторы-консультанты: М. А. ЕЛБЯШЕВИЧ (атомная физика), О. Д. КАЗАЧКОВСКИЙ (ядерная энергетика), М. С. КОЗОДАЕВ (экспериментальная ядерная физика). Научный редактор М. Н. ФЛЕРОВА.

Молекулярная физика. Члены редакционной коллегии: П. А. РЕБИНДЕР (общие вопросы, газы, жидкости, поверхностные явления), А. В. ПУВНИКОВ (физика твердого тела). Редактор-консультант И. В. ОБРЕИМОВ (физика твердого тела). Научные редакторы: С. А. КОРДЮКОВА (общие вопросы, газы, жидкости, полимеры), И. Б. НАЙДЕНОВА (физика кристаллов).

Физика плазмы. Редактор-консультант Л. А. АРЦИМОВИЧ, научный редактор М. Н. ФЛЕРОВА.

Физика низких температур. Член редакционной коллегии П. Л. КАПИЦА. Редактор-консультант И. М. ХАЛАТНИКОВ. Научный редактор Э. Р. ВЕЛИБЕКОВ.

Вакуумная техника. Редактор-консультант И. С. РАВИНОВИЧ. Научный редактор С. М. ШАПИРО.

Теоретическая физика. Члены редакционной коллегии: В. Г. ЛЕВИЧ (статистическая физика), Е. Л. ФЕЙНБЕРГ (квантовая механика, теория поля, теория относительности). Редакторы-консультанты: И. М. ЛИФШИЦ, С. В. ТЯБЛИКОВ (статистическая физика). Научный редактор Э. Р. ВЕЛИБЕКОВ.

Химия. Член редакционной коллегии Я. К. СЫРКИН. Научные редакторы: С. А. КОРДЮКОВА (физическая химия, теория химической связи), Н. П. МОСТОВЕНКО (химические элементы).

Геофизика. Редакторы-консультанты: В. А. БЕЛИНСКИЙ (метеорология), В. П. ОРЛОВ (земной магнетизм). Научные редакторы: Н. П. ЕРПЫЛЕВ (физика земли, атмосферная оптика и электричество), И. Б. НАЙДЕНОВА (физика атмосферы и гидросферы).

Астрономия. Редактор-консультант Б. В. КУКАРКИН. Научный редактор Н. П. ЕРПЫЛЕВ.

Биофизика. Редактор-консультант Г. М. ФРАНК. Научный редактор С. А. КОРДЮКОВА. Математика. Научный редактор В. И. ВИТЮКОВ.

Метрология. Редактор-консультант Г. Д. БУРДУН. Научный редактор С. А. КОРДЮКОВА.

Научно-контрольный редактор П. В. СЫСОВЕВ.

Редактор словника В. В. ТАВЕНСКИЙ.

Литературные редакторы — Н. М. КАРАКАШ, Э. П. РЯБОВА; младшие редакторы — Р. Б. ИВАННИКОВА, Э. А. КОСАРЕВА, А. А. СИЛАЕВА; редактор по иллюстрациям — В. А. АЛЕКСЕЕВ; редакторы библиографии — В. А. ГАЛЬМИНАС, Е. И. ЖАРОВА; корректорская — М. В. АКимова, Ю. А. ГОРЬКОВ, Н. Е. ЗМЕЕВА, Н. Д. КАЛУЖСКИЙ, А. В. МАСЛОВА, Л. Н. СОКОЛОВА; технический редактор И. Д. КУЛИДЖАНОВА.

Е

ЕВРОПИЙ (Europium) Eu — редкоземельный химич. элемент III гр. периодич. системы Менделеева, лантанид, п. н. 63, ат. в. 152,0. Состоит из смеси двух стабильных изотопов с массовыми числами 151 (47,77%) и 153 (52,23%). Смесь искусственно радиоактивных изотопов Eu^{152} и Eu^{154} ($T_{1/2} = 12,7$ лет и 16 лет) применяется в качестве источника излучения в гамма-дефектоскопии. Изотопы Eu^{155} и Eu^{153} , образующиеся при делении урана, обладают высокими сечениями захвата нейтронов и являются «реакторными ядами». Среди редкоземельных элементов Е. — один из наименее распространенных. Конфигурация внешних электронов атома $4f^7 6s^2$. Первая и вторая энергии ионизации в эв равны 5,67 и 11,3.

Е. — металл, имеет объемноцентрированную кубич. решетку с параметром $a = 4,606$ А. Атомный радиус 2,042 А, ионный радиус Eu^{3+} 0,97 А. Плотность 5,166 г/см³; $t_{\text{пл}}$ 900°С; $t_{\text{кип}}$ 1700°С. Теплота плавления 2,3 ккал/г-атом, теплота испарения 40 ккал/г-атом. Атомная теплоемкость $C_p = 6,00$ кал/г-атом · град (при 0°С). Металл парамагнитен, атомная магнитная восприимчивость $30400 \cdot 10^{-6}$. В соединениях Е. проявляет валентности 2 и 3. Соли розового или бледно-желтого цвета.

Лит. см. при ст. Лантаниды.

Б. П. Жагин.

ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЕЙ — в обычном и более узком понимании релятивистская теория, к-рая, по идее А. Эйнштейна, должна осуществить объединение и геометризацию гравитационного и электромагнитного полей. В более широком смысле Е. т. п. — теория, объединяющая в форме единого ур-ния все существующие материальные поля (электромагнитное, электронно-позитронное, мезонное и т. д.), первая попытка построения к-рой была предпринята В. Гейзенбергом.

В совр. теории тяготения гравитац. поле описывается десятью потенциалами g_{ik} , имеющими одновременно простой геометрич. смысл: они определяют метрику Римана в пространственно-временном континууме, согласно ф-ле $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k$. Потенциалы g_{ik} удовлетворяют 10 нелинейным дифференциальным ур-ниям 2-го порядка. В силу общей ковариантности потенциалы определены с точностью до 4 произвольных ф-ций пространства — времени. Поэтому гравитац. потенциалы связаны четырьмя дифференциальными тождествами, обеспечивающими сохранение энергии-импульса материи в гравитац. поле. Из 10 ур-ний поля независимыми оказываются 6. Сохраняя общность, можно калибровать потенциалы, накладывая на них дополнит. условия, скажем, условие гармоничности $\frac{\partial}{\partial x^h} \sqrt{-g} \cdot g^{ih} = 0$.

Электромагнитное поле описывается электромагнитными 4-потенциалами A_i , удовлетворяющими ур-нию

$$\square A_i - \frac{\partial}{\partial x^i} \left(\frac{\partial A_k}{\partial x^k} \right) = -S_i,$$

где S_i — четырехвектор тока. В силу ур-ния непрерывности 4 ур-ния для потенциалов связаны одним дифференциальным соотношением. Сохраняя общность, можно калибровать электромагнитные потенциалы, напр., Лоренца условием

$$\frac{\partial A_i}{\partial x^i} = 0.$$

Попытки объединения единым математич. формализмом теорий гравитации и электричества и придания геометр. смысла гравитационным и электр. полям начались сразу после создания теории тяготения Эйнштейна.

Одним из возможных путей такого объединения является выход за рамки римановой геометрии. Теория подобного рода была впервые предложена Г. Вейлем [1]. Геометрия Вейля отличается от римановой геометрии тем, что при параллельном переносе вдоль замкнутого контура меняется не только направление, но и длина вектора. Новое свойство может характеризоваться пределом отношения изменения длины вектора к площади, охватываемой контуром. Это вводит в теорию еще 4 новых величины. Вейль отождествил их с электромагнитными потенциалами. В геометрии мира, предложенной Эйнштейном [2], фигурирует несимметричный тензор $g_{ik} \neq g_{ki}$, причем

симметричная его часть $\frac{1}{2}(g_{ik} + g_{ki})$ определяет гравитац. поле и метрику пространства — времени, а антисимметричная часть считается пропорциональной составляющим тензора электромагнитного поля F_{ik} .

Другой путь состоит во введении дополнительного, 5-го измерения и в расширении 4-мерного континуума до 5-мерного ([3], [4], [5]). При этом, чтобы достигнуть согласия с опытом, постулируется, что все физич. поля не зависят от пятой координаты — т. е. условие цилиндричности. В таком пространстве риманова геометрия определяется метрич. 5-тензором $G_{\mu\nu}$ (15 величин), связанным с гравитационными и электромагнитными величинами ф-лами:

$$G_{ik} = g_{ik} + \frac{e^2}{m^2 c^4} A_i A_k, \quad G_{5k} = \frac{e}{m c^2} A_k, \quad G_{55} = 1, \\ i, k = 1, 2, 3, 4.$$

Можно показать, что геодезич. линии в таком пространстве представляют собой траектории заряженных частиц с зарядом e и массой m , движущихся в заданных гравитационном и электромагнитном полях. Поскольку в выражение для G_{5k} входит отношение e/m , очевидно, что рассматриваемое пространство не является расширенным на одно измерение универсальным пространством теории тяготения, а конфигурац. пространством заряженной частицы с заданным отношением e/m . Это соответствует тому хорошо известному факту, что принцип эквивалентности Эйнштейна применим только к гравитац. полю и несправедлив для электромагнитного.

Против 5-мерной теории в ее первонач. формулировке можно привести следующие возражения: 1) пятое измерение вводится чисто формально, и физический смысл остается невыясненным; 2) условие цилиндричности, накладываемое на метрич. потенциалы, является физически неудовлетворительным, поскольку вводимое формально пятое измерение не дает никаких физически наблюдаемых эффектов; 3) в рамках теории непонятна роль потенциала G_{55} , к-рый приходится положить равным единице.

Эти возражения побудили Эйнштейна и Бергмана [6] отказаться от требования строгой цилиндричности и заменить его требованием микроскопич. периодичности, т. е. считать, что метрич. потенциалы являются периодич. ф-циями 5-й координаты с настолько малым периодом b , что «классические» приборы воспринимают лишь усредненные значения величин. Величина b теории Эйнштейна—Бергмана является новой физич. постоянной, причем предшествующие теории Калуца — Клейна — Фока получаются в результате предельного перехода $b \rightarrow 0$.

Работа Эйнштейна и Бергмана была продолжена Румером [7]. Исходя из оптико-механич. аналогии Гамильтона — Шредингера, он показал, что 5-му измерению пространства можно приписать физич. смысл действия, а универсальную постоянную b отождествить с постоянной Планка h . Существенным в теории Румера является возможность описать движение материальной частицы как оптич. процесс распространения волн в 5-мерном пространстве Римана (3 пространств, координаты, время и действие), на метрич. тензор к-рого наложено условие периодичности. В приближении геометрич. оптики получается классич. релятивистская механика, описываемая в теории Румера ур-нием 5-мерного эйконала $G^{\mu\nu} \frac{\partial \Sigma}{\partial x^\mu} \frac{\partial \Sigma}{\partial x^\nu} = 0$,

однородным в потенциалах $G^{\mu\nu}$, т. е. физич. смысл имеют не 15 потенциалов $G_{\mu\nu}$, а лишь 14 отношений между ними, так что требование $G_{55} = 1$ несколько не уменьшает общности.

Волновая оптика в 5-мерном пространстве дает совр. квантовую механику в частном случае, если потенциалы $G_{\mu\nu}$ не зависят от 5-й координаты.

Более широкий взгляд на проблему Е. т. п. был высказан в недавних работах Гейзенберга [8] и его сотрудников. В отличие от обычных представлений о том, что различные элементарные частицы и соответствующие им поля должны описываться различными ур-ниями, Гейзенберг выдвигает идею о едином ур-нии, к-рое должно описывать все существующие поля и частицы. Эти поля должны описываться стационарными решениями универсального волнового операторного ур-ния для материи. Универсальное ур-ние Гейзенберга должно давать правильный спектр масс элементарных частиц и, в частности, оно должно допускать стационарное решение с массой нуль и спином 1 (фотоны). Гейзенберг выдвинул также идею о том, что ур-ние в силу нелинейности может обладать симметрией, к-рой не обладает ни одно из его решений. Гейзенберг высказал предположение, что на этом пути удастся объяснить такую характеристику элементарных частиц, как *изотопический спин*.

При конкретном осуществлении этих идей Гейзенберг особенно подробно исследовал в качестве такого универсального основного ур-ния нелинейное ур-ние для спинорного поля ψ , предполагая, что именно это спинорное поле является фундаментальным полем материи, различные состояния к-рого представляют все наблюдаемые нами физически различные поля (мезонное, нуклонное, электромагнитное и т. д.). Это ур-ние —

$$\gamma_\mu \frac{\partial \psi}{\partial x_\mu} - l^2 \psi (\psi^\dagger \psi) = 0,$$

где γ_μ — Дирака матрицы, l — фундаментальная константа (новая мировая постоянная) размерности длины (ожидается, что сравнение с опытом даст для нее значение порядка 10^{-13} см), являющаяся единств. постоянной, фигурирующей в теории (кроме скорости света c и планковской постоянной h). Последнее отличается от Дирака уравнения только тем, что линейный член в ур-нии Дирака, содержащий массу спинорных частиц, заменен нелинейным, описывающим «самодействие» поля ψ . В др. вариантах теории нелинейный член имеет неск. отличный вид.

Такое ур-ние неперенормируемо, и для устранения бесконечностей Гейзенберг вынужден вводить предположения о спец. виде ф-ции распространения (совместность к-рого с ур-нием еще не доказана). Вместе с тем в теорию вводится гильбертово подпространство с индефинитной метрикой. В подобном пространстве квадрат модуля волновой ф-ции может быть отрицательным. Несмотря на полученные в результате вычислений интересные выводы, в силу отмеченных выше трудностей эта теория в настоящее время (1961 г.) является по существу лишь программой, привлекающей внимание ряда теоретиков, но еще далекой от завершения.

Лит.: 1) Weyl H., Gravitation und Elektrizität, «Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss.», 1918, Halbband I, S. 465—80; 2) Эйнштейн А., Сущность теории относительности, пер. с англ., М., 1955; 3) Kaluza Th. Zum Unitätsproblem der Physik, «Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss.», 1921, Halbband 2, S. 966—72; 4) Klein O., Quantentheorie und fünfdimensionale Relativitätstheorie, «Z. Phys.», 1926, Bd 37, H. 12, S. 895—906; 5) Fock V., Über die invariante Form der Wellen und der Bewegungsgleichungen für einen geladenen Massenpunkt, там же, 1926, Bd 39, H. 2—3, S. 226—33; 6) Einstein A. and Bergmann P., On a generalization of Kaluza's theory of electricity, «Ann. Math.», 1938, v. 39, № 3; 7) Румер Ю. Б., Исследования по 5-оптике, М., 1956; 8) Нелинейная квантовая теория поля. Сб. статей, перевод..., М., 1959 (Проблемы физики). Ю. Б. Румер.

ЕДИНИЦЫ ДВОИЧНЫЕ (в теории информации) — единицы измерения *энтропии* и количества *информации*. Энтропия в 1 Е. д. (1 bit — от англ. binary digit) имеет источник с двумя равновероятными сообщениями. Происхождение термина объясняется тем, что количество Е. д. указывает (с точностью до единицы) среднее число знаков, необходимое для записи сообщений данного источника в двоичном *коде*. Употребляются также десятичные (decit — от англ. decimal digit) единицы. Переход от одних единиц к другим соответствует изменению основания логарифмов в определении энтропии и количества информации (10 вместо 2). Ф-ла перехода: 1 дес. ед. = $1/\lg 2$ дв. ед. $\approx 3,32$ дв. ед.

Ю. В. Прохоров.

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ — значения величин, принимаемые за основание сравнения для количественной оценки величин того же рода. В принципе Е. и. физич. величины могут выбираться совершенно произвольно и независимо друг от друга. Однако, по практич. соображениям, размер Е. и. выбирается так, чтобы величины, встречающиеся на практике, выразились, по возможности, не слишком большими и не слишком малыми числами; оказывается целесообразным независимые Е. и. установить только для нек-рого ограниченного числа величин (основные единицы), а Е. и. остальных величин связать с ними и друг с другом определенными соотношениями (производные единицы). При выборе основных Е. и. большое значение имеет возможность их установления, воспроизведения и сравнения с максимально достижимой точностью с помощью эталонов или спец. измерений. Совокупности основных и производных Е. и., относящихся к определенной области явлений (или группе областей), образуют *системы единиц*. Наряду с Е. и., входящими в ту или иную систему, имеется значит. число

внесистемных единиц, применяющихся в определенных огранич. областях.

Лит. см. при ст. Системы единиц.

Л. А. Сена.

ЕДИНИЧНАЯ ГРАНЬ (в кристаллографии и) — грань, отсекающая на каждой из координатных осей по 1 осевой единице a , b , c (рис.), к-рые могут быть равны или неравны друг другу. Если взять их за ребра элементарного параллелепипеда (ячейки решетки) и построить последний, то Е. г. будет его диагональной плоскостью, имеющей символ (111). При 4 осях координат (в гексагональной системе) символ Е. г. будет (1011) или (1121). В кубической системе за Е. г. берется грань октаэдра или тетраэдра. См. также Гаюи закон, Индексы граней кристалла.

Е. Е. Флинт.
ЕМКОСТНАЯ СВЯЗЬ — см. Связи между электрическими цепями.

ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ — электрическое сопротивление, обусловленное емкостью цепи синусоидального тока; равно отношению амплитуды (действующего значения) синусоидального напряжения на емкости к амплитуде (действующему значению) синусоидального тока в цепи. Обозначается символом x_c . Измеряется в омах. Е. с. равно величине, обратной произведению емкости и угловой частоты тока: $x_c = 1/\omega C$. В комплексной форме записывается как отрицат. мнимое число $-jx_c = -j \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{j\omega C}$. Электрич. энергия, связанная с емкостью, испытывает колебания, переходя от источника в электрич. поле и обратно, причем средняя за период мощность равна нулю. Поэтому емкостное сопротивление называется реактивным.

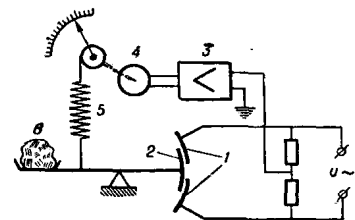
Лит.: 1) Калантаров П. Л., Нейман Л. Р., Теория цепей переменного тока, в нн.: Теоретические основы электротехники, ч. 2, 4 изд., М.—Л., 1954, с. 37; 2) Атабеков Г. И., Теория линейных электрических цепей, М., 1960, с. 43—44. С. Д. Куталян.

ЕМКОСТНЫЙ ДАТЧИК — преобразователь неэлектрич. величин — перемещения, угла поворота, механич. усилия, темп-ры, состава веществ и др. — в изменение электрич. емкости. Конструктивно Е. д. представляет собой конденсатор, состоящий из двух или более пластин и слоя диэлектрика. Изменение емкости может производиться: а) изменением величины зазора δ между пластинами; б) изменением площади F взаимного перекрытия пластин; в) перемещением диэлектрика между пластинами (при измерении уровня); г) деформацией сжатия или растяжения диэлектрика; д) нагревом диэлектрика; е) изменением состава диэлектрика (при измерении влажности). Наиболее широкое применение получили Е. д. перемещения, типов а) и б).

Основной характеристикой Е. д. является чувствительность $S = \partial C / \partial x$, где C — емкость, x — входная величина. Для Е. д. перемещения: $S = \epsilon F / \delta^2$ при переменном зазоре δ , и $S = (\epsilon / \delta) \partial F / \partial x = \epsilon b / \delta$ — при переменной площади F . Здесь b — ширина пластин в направлении, перпендикулярном перемещению, ϵ — диэлектрич. проницаемость.

Е. д. включается обычно в мостовую или дифференциальную схему, питаемую переменным током, в качестве ее плеча, вторым плечом служит конденсатор постоянной емкости. Для увеличения чувствительности применяются трехэлектродные дифференциальные Е. д., включаемые в оба плеча моста (см. рис.). Для получения большей чувствительности частота тока выбирается такой, чтобы получить емкостное сопротивление $x_c = 1/\omega C$ одного порядка с сопротив-

лением нагрузки моста (напр., с входным сопротивлением усилителя на рис.). Т. к. емкость датчика обычно мала (10—100 пф), то необходимо повышать частоту (400 гц — неск. Мгц) и применять усилители. Усилитель (или его первую ступень) располагают на небольшом расстоянии от Е. д. для уменьшения влияния емкости соединений. проводов. Наличие усилителя снижает общую точность преобразования, поэтому Е. д. применяются преимущественно в устройствах, работающих по нулевому методу измерений. В этом случае практически может быть достигнута точность до сотых долей %.



Весы с дифференциальным емкостным датчиком: 1 — неподвижные пластины; 2 — подвижная пластина; 3 — усилитель; 4 — серводвигатель; 5 — пружина; 6 — взвешиваемое тело.

На рис. изображены весы с дифференциальным Е. д. При изменении веса тела емкость меняется, и на входе усилителя появляется сигнал, вызывающий вращение двигателя до тех пор, пока скрученная им пружина не уравнивает груз. При этом подвижная пластина займет положение, при к-ром мост сбалансирован.

Е. д. применяется при измерении быстроменяющихся давлений, прецизионном измерении механич. перемещений (емкостные микрометры) и для преобразования перемещений маломощных механич. систем в электрич. величину.

Лит.: 1) Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецов Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959, с. 44; 2) Ацюковский В. А., Емкостные дифференциальные датчики перемещения, М.—Л., 1960. Д. И. Агейкин.

ЕМКОСТЬ электрическая — см. Электрическая емкость.

ЕМКОСТЬ ВХОДНАЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЫ — см. Входная емкость электронной лампы.

ЕМКОСТЬ ВЫХОДНАЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЫ — см. Выходная емкость электронной лампы.

ЕМКОСТЬ ПАМЯТИ — 1) Наибольшее число кодов чисел, к-рое может храниться в запоминающем устройстве одновременно. 2) Количество единиц информации, хранимых в запоминающем устройстве.

ЕСТЕСТВЕННО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА — см. Оптически-активные вещества.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ — системы единиц, основанные на мировых постоянных. В обычных системах единиц размер основных единиц выбирается совершенно произвольно; этот выбор определяет значение коэффициентов в различных физич. соотношениях. Если же принять за единицы сами эти коэффициенты, являющиеся мировыми постоянными, то тем самым определяются единицы различных физич. величин. Этим обусловлено принципиальное значение Е. с. е. в физике. Однако они имеют и практическое значение, т. к. при пользовании ими вид соответствующих ур-ний физики значительно упрощается. В различных областях физики удобно применять различные Е. с. е., каждый раз выбирая такую Е. с. е., при к-рой основные для данной области физики ур-ния освобождаются от коэффициентов, содержащих размерные постоянные.

В Е. с. е., предложенной М. Планком, за единицы принимают гравитац. постоянную, скорость света, постоянную Больцмана и постоянную Планка. Недостаток такой Е. с. е. состоит в том, что размеры единиц массы ($5,43 \cdot 10^{-5}$ г), длины ($4,02 \cdot 10^{-33}$ см) и времени ($1,34 \cdot 10^{-43}$ сек) оказываются совершенно неподходящими для практики. Кроме того, в такой системе

лишь в редчайших случаях применяемые ур-ния избавляются от размерных коэффициентов.

Более полезна и широко применяется в атомной физике система атомных единиц Хартри. Она принимает в качестве основных единиц заряд электрона ($e = 4,803 \cdot 10^{-10}$ СГСЕ), массу электрона ($m = 9,108 \cdot 10^{-28}$ г), радиус первой боровской орбиты атома водорода ($a_0 = \hbar^2/4\pi^2 m e^2 = 0,5292 \cdot 10^{-8}$ см) и постоянную Планка ($\hbar = h/2\pi = 1,0544 \cdot 10^{-27}$ гсм²/сек). В этой системе единицей энергии является $e^2/a_0 = m e^4/\hbar^2 = 4,359 \cdot 10^{-11}$ эрг, единицей времени — $\hbar^3/m e^4 = 2,419 \cdot 10^{-17}$ сек. При рассмотрении атомных объектов в такой системе единиц ур-ния освобождаются от лишних числовых множителей, благодаря чему законы физики приобретают более простой вид. Напр., Шредингера уравнение для водородного атома в системе Хартри имеет вид:

$$\Delta\psi + 2(\epsilon + 1/r)\psi = 0,$$

где r — радиальная координата, а ϵ — энергия атома водорода, выраженные в атомных единицах.

В релятивистской квантовой механике пользуются системой, в к-рой единицами являются $\hbar$, скорость света c и масса m к.-л. элементарной частицы (электрона или протона) в зависимости от того, какие процессы рассматриваются. За 4-ю единицу при этом часто берут постоянную Больцмана k . В такой системе единицей длины является комптоновская длина волны электрона $\hbar/mc \approx 3,85 \cdot 10^{-11}$ см, единицей времени $\hbar/mc^2 \approx 1,28 \cdot 10^{-21}$ сек, единицей энергии — энергия покоя электрона $mc^2 \approx 0,82 \cdot 10^{-12}$ эрг.

Лит.: 1) С е н а Л. А., Единицы измерения физических величин, М.—Л., 1951; 2) Б е т е Г. А., Сол п и т е р Э., Квантовая механика атомов с одним и двумя электронами, пер. с англ., М., 1960. А. В. Воронель.

ЕСТЕСТВЕННЫЙ СВЕТ — совокупность некогерентных световых волн со всеми возможными по-

стоями поляризации, причем интенсивность колебаний в любой такой плоскости в среднем одна и та же (см. *Поляризация света*). Свет, испускаемый отдельным свободным центром излучения (атомом, молекулой, узлом кристаллич. решетки и т. п.), чаще всего поляризован линейно, хотя существуют и излучатели, дающие более сложную поляризацию (напр., круговую). Положение плоскости поляризации зависит и от характера возбуждения. Приходящий в к.-л. точку свет, испускаемый отдельным атомом, сохраняет состояние поляризации в течение времени порядка 10^{-8} сек или меньше. При следующем акте излучения свет будет обладать иным направлением поляризации. В обычных случаях одновременно наблюдается излучение огромного числа центров, различно ориентированных и меняющих ориентацию по законам статистики. При полном статистич. беспорядке в излучении отдельных центров и их ориентации и получается Е. с.

Излучение большинства источников, встречающихся на практике, близко к естественному, однако некоторые следы поляризации всегда наблюдаются. Эта поляризация происходит вследствие 2 процессов: прохождения света внутри источника от глубинных слоев наружу через поверхностные его области и прохождения света через среду от источника к наблюдателю (поляризация при отражении, поляризация света, рассеянного средой, дихроизм среды и т. п.). Напр., для ртутной лампы различие в интенсивности колебаний с различными направлениями может достигать 7—10%; еще больше это различие в свете неба. Прямой солнечный свет очень близок к Е. с.

Лит.: 1) Л а н д с б е р г Г. С., Оптика, 4 изд., М., 1957 (Общий курс физики, т. 3), гл. XV, § 96, с. 101; 2) В а в и л о в С. И., Микроструктура света, Собр. сочинений, т. 2, М., 1952, ч. 2, гл. 4, § 13. В. А. Кизель.

Ж

ЖАМЕНА ИНТЕРФЕРОМЕТР — см. *Интерферометр Жамена*.

ЖАМЕНА КОМПЕНСАТОР — см. *Интерферометр Жамена*.

ЖАМЕНА РЕФРАКТОМЕТР — см. *Интерферометр Жамена*.

ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ — сплавы, к-рые могут противостоять механич. нагрузкам при темп-рах, составляющих примерно 0,4—0,8 от темп-ры плавления. Одно из основных требований, предъявляемых к Ж. с., — способность выдерживать длительное время механич. нагрузки без существенных деформаций и разрушения. При длительной нагрузке, достаточной для деформирования материала, с течением времени происходит его пластич. деформация, т. е. осуществляется ползучесть, к-рая может привести к значит. изменению формы изделия или его разрушению.

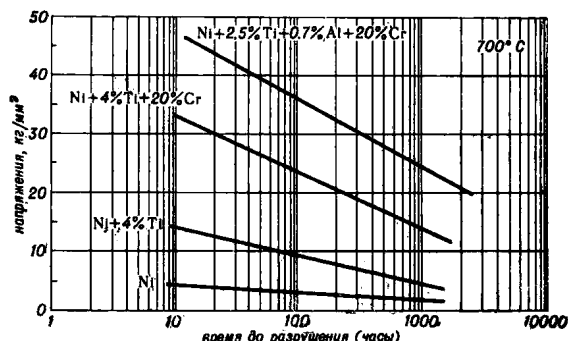
Упрочнение Ж. с., как и вообще упрочненное состояние, достигается созданием структуры, препятствующей прохождению элементарных актов пластич. деформации, т. е. затрудняющей возникновение и движение дислокаций (см. *Упрочнение*). В чистых металлах это обеспечивается уменьшением размера областей кристаллич. решетки с правильным строением и увеличением степени разориентировки между ними. Структуру, присущую упрочненному состоянию чистых металлов или *твердых растворов* при высоких темп-рах, получают путем пластич. деформации ниже темп-ры рекристаллизации (*наклеп*). В твердых растворах дополнительным препятствием для движения дислокаций являются атомы или группы атомов растворенных элементов. В сложных двух- или многофазных сплавах пластич. деформация существенно затрудняется при равномерном распределении дисперсных частиц упрочняющей фазы или фаз. Как правило, наличие растворенных атомов и дисперсных частиц приводит также к локальному нарушению правильности строения кристаллич. структуры основы сплава, т. е. создает дополнит. упрочнение.

Упрочненное состояние Ж. с. достигается преимущественно термич. обработкой, приводящей к дисперсионному твердению. В зависимости от химич. состава сплавов упрочняющая фаза может быть карбидом, интерметаллидом или их смесью. График на рис. иллюстрирует увеличение времени до разрушения в зависимости от приложенных напряжений при 700° С для чистого Ni, раствора Ti и Cr на его основе и дисперсионно-твердеющего сплава на его основе (Ni + 2,5% Ti + 20% Cr + 0,7% Al).

Ж. с. применяются как в кованом виде, так и в литом. Упрочнение литых сплавов, как правило, обеспечивается наличием «каркаса» интерметаллидной или карбидной фаз, расположенного по границам зерен основной матрицы. В ряде случаев производится и термич. обработка литых сплавов, целью к-рой является дополнит. упрочнение их основы. Примером

литого Ж. с. является сплав на основе кобальта (63% Co + 27% Cr + 6% Mo + 3% Ni + 3% C), к-рый может применяться до 800—850° С при напряжениях 15—20 кг/мм² сотни часов.

Все большее применение в качестве жаропрочных материалов получают сплавы, изготавливаемые метал-



локерамич. путем (спекание дисперсных порошков). Такие жаропрочные материалы получают при спекании карбидов, силицидов, нитридов, окислов и интерметаллич. соединений; пример — САП (спекенный алюминидный порошок), в к-ром упрочнение обеспечивается наличием высокодисперсных частиц окиси алюминия и предварительной пластич. деформацией. Такой сплав может работать сотни часов при 400° С (0,72 от темп-ры плавления). Спрессованная и спеченная смесь 65% TiC с 5% NbC + TiC + TaC, пропитанная 20% Co, при напряжениях 30 кг/мм² и 800—820° С не разрушается в течение 100 часов.

Основные особенности структуры Ж. с., обеспечивающие их высокую прочность, и сплавов, к-рые эксплуатируются в условиях обычных темп-р и скоростей деформации, существенно не различаются. Однако специфич. особенностью условий службы Ж. с. является их длит. пребывание при темп-рах, при к-рых состояние, обеспечивающее высокую прочность, становится весьма неустойчивым. Поэтому возникает задача сохранения этого состояния в течение длит. времени при повышенных темп-рах. Разупрочнение сплава при повышении темп-ры связано с огрублением (укрупнением частиц упрочняющей фазы, снятием искажений кристаллич. решетки) структуры, характерной для упрочненного состояния. Скорость процессов, приводящих к разупрочнению, в конечном итоге определяется подвижностью атомов (диффузией) в кристаллич. решетках фаз, составляющих сплав, к-рая, в свою очередь, зависит от величины межатомного взаимодействия в кристаллич. решетках этих фаз. Поэтому силы межатомных связей должны быть достаточными для сохранения состояния, обуславливающего высокое сопротивление пластич. деформации при повышенных темп-рах.

Другими важными факторами, с к-рыми связана скорость огрубления структуры, присущей состоянию с высокой прочностью, является способность к растворению частиц выделений и величина поверхностной энергии на границе раздела между фазами. Понижение способности к растворению частиц и уменьшение величины поверхностной энергии приводят к замедлению процесса укрупнения частиц упрочняющей фазы. Величина межкатомного взаимодействия — главный фактор, определяющий выбор основы сплава и верхний температурный предел, до к-рого он может применяться. Поэтому основой для Ж. с. могут служить Ni, Fe, Co, Cr, Mo, Nb, Ta, W, характеризующиеся значительной величиной сил межкатомного взаимодействия (высокие темп-ры плавления, большие модули упругости, малые коэфф. самодиффузии и т. п.) (см. табл.).

Металлы, служащие основой жаропрочных сплавов	Темп-ра плавления (°C)	Прочность при 20° C (кг/мм ²)	σ^* (кг/мм ²)	Плотность ρ (г/см ³)	σ^*/ρ
Ti	1660	30	~ 0,1	4,5	0,022
Zr	1860		~ 0,1	6,4	0,015
V	1730		0,3	5,96	0,05
Nb	2415	35	2,8	8,6	0,33
Ta	3030	35	3 — 4	16,6	0,18 — 0,24
Cr	1930	49	2 — 3	7,1	0,28 — 0,42
Mo	2625	52	3 — 4	10,2	0,29 — 0,38
W	3380	120	6	19,3	0,31
Pt	1771	12,5	~ 0,1	21,45	0,005
Pd	1554	—	0,3	11,9	0,03
Rh	1960	52	3	12,4	0,24
Ir	2443	—	6	22,4	0,27
Fe	1535	28	0,48	7,9	0,06
Co	1492	25	0,62	8,7	0,07
Ni	1453	21	0,25	8,9	0,03

* Напряжения, необходимые для деформации до 1% за 24 часа при 1000° C.

Понижение растворимости частиц упрочняющей фазы играет важную роль в металлокерамич. сплавах, сложнотермостойких сталях с упрочнением карбидами, а также в литых сплавах. Третий фактор — уменьшение поверхностной энергии на границе раздела между дисперсными частицами и матрицей — наряду с двумя первыми — проявляется гл. обр. в сплавах, где упрочнение является следствием выделения частиц интерметаллич. фаз (напр., сплавы на основе никеля).

Жаропрочные металлы и сплавы по условиям службы можно разделить на 3 группы: сплавы, к-рые подвергаются значительным, но кратковременным (минуты — часы) механич. нагрузкам при высоких темп-рах; сплавы, к-рые находятся под нагрузкой при высоких темп-рах десятки и сотни часов; сплавы, к-рые предназначены для работы в условиях больших нагрузок и высоких темп-р тысячи, десятки, а иногда сотни тысяч часов. В зависимости от этого существенно меняются требования к структуре сплава. Напр., любая причина, обуславливающая неустойчивость структуры сплава при рабочих условиях, вызывает ускорение процессов деформирования и разрушения. Поэтому сплавы, предназначенные для длит. службы, подвергаются спец. стабилизирующей обработке, к-рая, хотя и может привести к некому снижению прочности при кратковременном нагружении, делает сплав более устойчивым к длительному воздействию нагрузок.

Вследствие неустойчивости структуры с высокой прочностью, к-рую получают термич. обработкой на дисперсионное твердение для данной основы, литые сплавы, как правило, более жаропрочны, чем деформируемые. Это особенно проявляется при эксплуатации сплавов при темп-рах, близких к их темп-ре плавления. Т. к. Ж. с. применяются при высоких темп-рах,

то большую роль играет их сопротивление окислению. В связи с этим сплавы на основе Mo, W, Nb и т. п. требуют спец. защиты. Существенное влияние на свойства Ж. с. оказывает наличие загрязнений различного рода. Поэтому большую роль при их изготовлении играет технология выплавки и обработки. В частности, значит. повышение свойств может быть достигнуто применением вакуумной плавки и чистых исходных материалов, особенно при изготовлении сплавов на основе металлов с объемноцентрированной кубич. решеткой (Fe, Cr, Mo и пр.), свойства к-рых особенно чувствительны к наличию незначит. количеств примесей.

Лит.: 1) Бернштейн М. Л., Стали и сплавы для работы при высоких температурах, М., 1956; 2) Салли А., Полужесткие металлы и жаропрочные сплавы, пер. с англ., М., 1953; 3) Смит М. К., Основы физики металлов, пер. с англ., М., 1959; 4) Курдюмов Г. В., Природа упрочненного состояния металлов, «Металловедение и термическая обработка металлов», 1960, № 10. В. М. Розенберг.

ЖДУЩАЯ РАЗВЕРТКА — развертка (временное отклонение луча) электроннолучевого осциллографа, начало которой определяется произвольно расположенным на оси времени началом некоторого электрич. процесса. На рис. 1 показана примерная схема генератора Ж. р. (см. также Генератор развертки, Генератор пилообразного напряжения), выходное напряжение к-рого после усиления подается на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки. Генератор запускается коротковременными нерегулярными импульсами (рис. 2, а). После каждого срабатывания генератор Ж. р. в течение любого произвольного интервала времени «ждет» прихода очередного запускающего импульса (рис. 2, б). Во время действия запускающего импульса происходит обратный ход развертки, а после его окончания начинается прямой ход развертки.

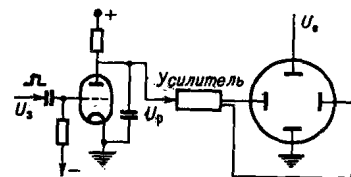


Рис. 1. Схема генератора ждущей развертки: U_z — запускающий импульс; U_p — напряжение развертки; U_c — исследуемый сигнал.

Кроме электроннолучевых осциллографов, Ж. р. применяются также в радиолокационных индикаторах и др. приборах, предназнач. для измерения временных интервалов и для наблюдения нерегулярных кратковрем. процессов.

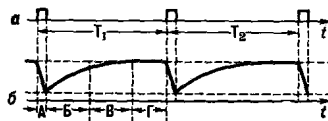


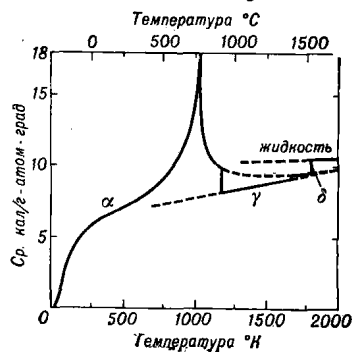
Рис. 2. Напряжение на генераторе ждущей развертки: а — запускающие импульсы; T_1 , T_2 — произвольные интервалы времени; б — напряжение развертки; А — обратный ход развертки; Б — линейный рабочий участок прямого хода развертки; В — ее нелинейный нерабочий участок; Г — состояние «ожидания» очередного запускающего импульса.

Лит.: Нелепец В. С., Белоцерковский Г. В., Основы радиолокации, М., 1954. Ю. А. Шумихин.

ЖЕЛЕЗА СТРУКТУРА — см. Железо.

ЖЕЛЕЗО (Ferrum) Fe — химич. элемент VIII гр. периодич. системы Менделеева; п. н. 26, ат. в. 55,85. Состоит из четырех стабильных изотопов: Fe^{54} (5,84%), Fe^{56} (91,68%), Fe^{57} (2,17%) и Fe^{58} (0,31%). Из искусственно радиоактивных изотопов важнейшие, применяемые как меченые атомы, Fe^{55} ($T_{1/2} = 2,94$ года) и Fe^{59} ($T_{1/2} = 45,1$ дня). Конфигурация внешних электронов атома $3d^6 4s^2$. Энергия ионизации в α состоянии: ($Fe^0 \rightarrow Fe^+$) 7,87; ($Fe^+ \rightarrow Fe^{2+}$) 16,11; ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$) 43,43. Ж. — блестящий серебристо-белый вязкий и ковкий металл. С увеличением степени чистоты свойства Ж. значительно изменяются даже в области очень малых концентраций примесей. Приведенные

ниже данные относятся к наиболее чистому Ж. (если нет особого примечания). При темп-ре ниже 910° (здесь и ниже даются градусы Цельсия) Ж. существует в виде α -фазы, имеющей объемноцентрированную кубич. решетку с параметром $a = 2,86645 \text{ \AA}$ (20°). Между 910° и 1400° устойчиво γ -Ж. с гранецентрированной кубич. решеткой, $a = 3,64 \text{ \AA}$. При $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ превращении обнаруживается температурный гистерезис. Выше 1400° снова стабильна объемноцентрированная кубич. решетка — δ -Ж., $a = 2,94 \text{ \AA}$. α -Ж. ферромагнитно до точки Кюри (769°). Парамагнитное α -Ж., существующее в интервале 769 — 910° , наз. β -Ж. Атомный радиус α -Ж. $1,26 \text{ \AA}$, γ -Ж. $1,284 \text{ \AA}$. Ионный радиус Fe^{2+} $0,80 \text{ \AA}$, Fe^{3+} $0,67 \text{ \AA}$. Плотность α -Ж. $7,874 \text{ г/см}^3$ (20°). Вычисленная плотность γ -Ж. $8,0$ — $8,1 \text{ г/см}^3$, δ -Ж. $7,3 \text{ г/см}^3$. $t_{\text{пл}}^{\circ}$ 1539° ; $t_{\text{кип}}^{\circ}$ прил. 3200° . Теплота плавления $3,64 \text{ ккал/г-атом}$; теплота испарения при $t_{\text{кип}}^{\circ}$ $81,3 \text{ ккал/г-атом}$. Термич. коэфф. линейного расширения $11,7 \cdot 10^{-6}$ (при 20°). Теплопроводность $0,177 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$ (25°). Теплоемкость Ж. зависит от его структуры и сложным образом изменяется с темп-рой (см. рис.). При 20° атомная теплоемкость $C_p \approx 6 \text{ кал/г-атом} \cdot \text{град}$. Начиная с 250° теплоемкость резко возрастает, достигая в точке Кюри максимума ок. $18 \text{ кал/г-атом} \cdot \text{град}$, затем круто снижается, образуя перелом при $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ -превращении.



Зависимость атомной теплоемкости железа от температуры.

Характеристич. темп-ра по Дебаю для Ж. равна 400 . Удельное электросопротивление $9,7 \cdot 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}$ (20°); термич. коэфф. электросопротивления $6,51 \cdot 10^{-3}$ (0 — 100°).

При исследовании Ж. до $0,75^{\circ} \text{ К}$ сверхпроводимость не была обнаружена. Наиболее важные магнитные характеристики Ж.: магнитный момент 1 г при насыщении $217,75$ (20°); намагниченность насыщения 1714 (20°); индукция насыщения 21580 (20°); число магнетонов Бора на атом $2,218$; макс. проницаемость (для технич. Ж.) 5000 ; коэрцитивная сила (для технич. Ж.) $0,9$. Механич. свойства Ж. при комнатной темп-ре: модуль нормальной упругости 19 — $21 \cdot 10^3 \text{ кг/мм}^2$; температурный коэффициент модуля Юнга $4 \cdot 10^{-6}$; модуль сдвига $8,4 \cdot 10^3 \text{ кг/мм}^2$; кратковременная прочность (на разрыв) 17 — 21 кг/мм^2 ; относительное удлинение 45 — 55% ; твердость по Бриггелю 35 — 45 кг/мм^2 ; предел текучести при растяжении ($\sigma_{0,2}$) 10 кг/мм^2 ; ударная вязкость $30 \text{ кг} \cdot \text{м/см}^2$.

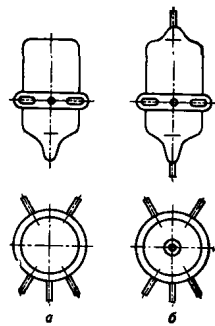
Ж. — металл средней химич. активности. В условиях службы и хранения легко подвергается коррозии. В сухом воздухе на поверхности Ж. образуется пассивирующая пленка окислов, предохраняющая металл от дальнейшего разрушения. Во влажном воздухе Ж. покрывается ржавчиной, состоящей гл. обр. из гидратированной окиси Ж. Как и его ближайшие аналоги — кобальт и никель, Ж. способно поглощать водород. В процессе катодного выделения Ж. при электролизе водород проникает в Ж. в виде протонов и, адсорбируясь на дефектах структуры, резко снижает прочность и пластичность Ж. (так называемая водородная хрупкость). В разбавленных кислотах металл растворяется с образованием солей 2-валентного Ж. Концентрированными азотной и серной кислотами пассивируется благодаря образованию тончайшей окисной пленки. В щелочах, за

исключением их концентрированных горячих растворов, Ж. не растворяется. В химич. соединениях Ж. гл. обр. 2- и 3-, реже 6-валентно. Ж. в виде чугуна, стали и др. разнообразных сплавов является основой современной техники.

Лит.: 1) Бозорт Р., Ферромагнетизм, пер. с англ., М., 1956; 2) Гудремон Э., Специальные стали, пер. с нем., т. 1, М., 1959; 3) Ullmann, 3 Aufl., Bd 6, München — В., 1955, S. 261—428.

ЖЕЛУДЕВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ — миниатюрные цельностеклянные приемно-усилительные лампы с жесткими (стержневыми) вводами, расположенными радиально в плоскости, перпендикулярной оси лампы (рис.). Желудевые пентоды имеют дополнит. вводы, расположенные сверху и снизу по оси лампы (рис., б). Название Ж. э. л. связано со сходством по форме и размерам с желудем.

Ж. э. л. характеризуются малыми внешними размерами (диаметр стеклянной колбы $\leq 16,7 \text{ мм}$; высота $\leq 39 \text{ мм}$; габаритные размеры с вводами по диаметру — $29,4 \text{ мм}$, по высоте — $47,6 \text{ мм}$), малыми размерами электродов, отсутствием цоколя и расположением вводов, обеспечивающим минимальные межэлектродные емкости и индуктивности. Последнее позволяет применять Ж. э. л. на более высоких частотах, чем приемно-усилит. лампы нормальных габаритов. Если последние имеют на частоте 50 МГц входное сопротивление $\approx 30000 \text{ ом}$ (см. Входное сопротивление электронной лампы), то у желудевых пентодов оно $\approx 80000 \text{ ом}$. Ниже приведены основные параметры выпускаемых Ж. э. л. (см. Параметры и характеристики электронных ламп).



Расположение вводов в желудевых электронных лампах: а — желудевый триод; б — желудевый пентод.

Основные параметры Ж. э. л.

Параметры	6Ж1Ж	6К1Ж	6С1Ж
$U_n \text{ в.}$	6,3	6,3	6,3
$J_n \text{ а.}$	0,15	0,15	0,15
$U_a \text{ в.}$	250	250	250
$U_c \text{ в.}$	100	100	100
$U_{c'} \text{ в.}$	—3	—3	—7
$I_a \text{ ма.}$	2,75	6,65	6,1
$S \text{ ма/в.}$	1,6	1,85	2,25
$R_i \text{ Мом.}$	1,2	0,7	0,0116
$P_a \text{ вт.}$	0,55	1,8	1,8

Ж. э. л. вытесняются т. н. «пальчиковыми» и сверхминиатюрными электронными лампами.

Лит.: 1) Salzberg B., Burnside D. G., «Proc. I. R. E.», 1953, v. 23, № 10, p. 1142; 2) Кауфман М. С. и Янкин Г. М., Электронные приборы, 2 изд., М.—Л., 1960. С. М. Мошкович.

ЖЕСТКИЙ И МЯГКИЙ РЕЖИМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ колебаний. При жестком режиме в колебательной системе автоколебания возникают от начального толчка достаточно большой величины; при мягком режиме — от сколь угодно малых начальных толчков (в частности, вследствие наличия флуктуаций в самой автоколебат. системе).

Оба режима возбуждения могут быть проиллюстрированы на примере лампового генератора (автогенератора), в к-ром они определяются выбором рабочей точки на характеристике электронной лампы. В автогенераторе одновременно действуют прямая и обратная связи между цепями сетки и анода. Прямая связь характеризуется нелинейной зависимостью анодного тока лампы от управляющего напряжения на сетке; обратная связь — линейной зависимостью напря-

жения, управляющего лампой, от создающего это напряжение тока в колебат. контуре (или в анодной цепи генератора). При мягком режиме возбуждения автоколебания возникают за счет флуктуаций в цепях схемы. Возникшие колебания плавно нарастают до стационарной амплитуды. При жестком режиме колебания возбуждаются только в случае, если первоначальный электрич. толчок (напр., при включении анодного напряжения) превышает нек-рое определенное значение (зависящее от параметров лампы и схемы). При меньшем толчке колебания, возникшие в системе, затухнут и система возвратится в начальное состояние.

Ж. и м. р. в. понимаются *колебательными характеристиками*: $I_{a1} = f(U_{упр})$, где I_{a1} — амплитуда первой гармоники анодного тока генератора, $U_{упр}$ — амплитуда управляющего напряжения. В свою очередь, $U_{упр} = U_c + DU_a$, где U_c — перем. напряжение на сетке лампы, D — проницаемость лампы и U_a — перем. напряжение на ее аноде. Для большинства генераторных ламп проницаемость D мала и можно принять: $U_{упр} \approx U_c$. Вид колебат. характеристики и режим генератора зависят от выбора рабочей точки на характеристике лампы. Если рабочая точка P_1 (рис. 1, а) выбрана на середине линейного участка

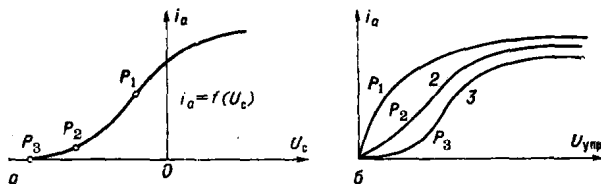


Рис. 1. а — характеристика лампы; б — колебательные характеристики: 1 — мягкого режима возбуждения; 2 и 3 — жесткого режима возбуждения.

характеристики, то колебат. характеристика имеет вид кривой 1 (рис. 1, б). Здесь при малых значениях управляющего напряжения I_{a1} вначале возрастает почти пропорционально $U_{упр}$; в дальнейшем рост тока замедляется вследствие влияния верхнего загиба характеристики и перехода лампы к т. н. перенапряженному режиму, ведущему к уменьшению анодного тока I_{a1} . В случае выбора рабочей точки в области нижнего загиба характеристики лампы (точка P_2 или — еще левее — точка P_3) колебат. характеристики имеют, соответственно, вид кривых 2 и 3 (рис. 1, б). Для учета влияния обратной связи в автогенераторе пользуются т. н. прямой обратной связи, характеризующей зависимость амплитуды возбуждающего напряжения U_c от амплитуды анодного тока I_{a1} (или от пропорционального ему тока в контуре). Ее пересечение с колебат. характеристикой (рис. 2, а) определяет величины установившихся амплитуд $U_{упр} \approx U_c$ и I_{a1} . Колебат. характеристика и прямая обратной связи изображены на рис. 2, а.

Из рис. 2, а видно, что колебат. характеристика и прямая обратной связи, выходя из начала координат, пересекаются в точке А, в к-рой имеет место соответствие между колебаниями, подводимыми к сетке лампы за счет обратной связи, и величиной I_{a1} , т. е. в системе осуществляется энергетич. баланс — компенсация всех потерь за каждый период колебаний. Для тех значений амплитуды колебаний, при к-рых колебат. характеристика проходит выше прямой обратной связи, энергия, вкладываемая в систему за счет работы лампы в цепи обратной связи, превосходит потери и амплитуда колебаний будет на-

растать. Поэтому, если в результате любого сколь угодно малого толчка на сетке лампы возникло управляющее напряжение $U'_{упр}$, то в системе возникнет колебат. процесс, монотонно нарастающий до тех пор, пока не будет достигнута стационарная

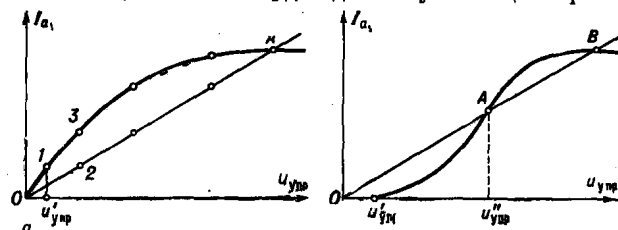


Рис. 2. Колебательные характеристики автогенератора: а — при мягком режиме возбуждения; б — при жестком режиме возбуждения; ОАВ — прямая обратной связи; А — точка неустойчивого и В — точка устойчивого режимов колебаний.

амплитуда (точка А). Т. о., в этом случае имеет место мягкий режим возбуждения колебаний. Случайное уменьшение или увеличение управляющего напряжения кончается возвращением значения амплитуды вновь в точку А, т. е. режим автоколебаний в этом случае устойчив.

В случае рис. 2, б флуктуации, вызывающие управляющие напряжения, меньшие $U'_{упр}$, вообще не вызовут анодного тока и колебаний. При возникшем в схеме генератора напряжении, большем $U'_{упр}$, но меньшем $U''_{упр}$, возникнут затухающие колебания. В точке А при управляющем напряжении $U''_{упр}$ условия самовозбуждения выполняются, но колебания неустойчивы, т. к. малейшее случайное уменьшение управляющего напряжения ведет к их срыву, а увеличение этого напряжения — к нарастанию амплитуды колебаний и переходу в точку В, где колебания устойчивы. Следовательно, в этом случае устойчивые колебания возникают лишь при начальном толчке такой величины, что управляющее напряжение превосходит $U''_{упр}$, т. е. имеет место жесткий режим возбуждения колебаний. Для того чтобы генератор самовозбуждался, необходим мягкий режим. Однако для получения высокого кпд генератора, в установившемся режиме он должен работать с отсечкой анодного тока. Необходимое для этого относительное отрицат. смещение (рабочая точка на нижнем загибе характеристики лампы P_2 или P_3) привело бы к жесткому режиму. Чтобы по мере нарастания колебаний обеспечить переход рабочей точки с средней части характеристики лампы на нижний загиб, применяется гридлик, автоматически смещающий рабочую точку за счет возникающего при колебаниях сеточного тока.

На фазовой плоскости мягкому режиму возбуждения соответствует неустойчивая особая точка и устойчивый предельный цикл (см. Автоколебания) с амплитудой, определяемой точкой А на рис. 2, а, а жесткому режиму — устойчивая особая точка, неустойчивый предельный цикл с амплитудой, соответствующей точке А (на рис. 2, б), и устойчивый предельный цикл с амплитудой, соответствующей точке В (на рис. 2, б).

Лит.: 1) Ицхоки Я. С., Нелинейная радиотехника, М., 1955; 2) Гоноровский И. С., Основы радиотехники, М., 1957; 3) Харкевич А. А., Нелинейные и параметрические явления в радиотехнике, М., 1958.

В. М. Тимофеев.

ЖЕСТКО-ПЛАСТИЧЕСКОЕ ТЕЛО — абстрактная (математическая) модель пластического тела, основанная на возможности пренебречь в ряде случаев упругими деформациями тела по сравнению с пластическими. Использование понятия Ж.-п. т. приводит

к идеализированным соотношениям между напряжением и деформацией (рис. 1). Реальное пластич. тело можно рассматривать как Ж.-п. т., если оно находится в условиях, когда пластич. деформации не ограничены величиной упругих деформаций (напр., при образовании шейки в образце при растяжении, рис. 2). В противном случае пластич. деформирование является

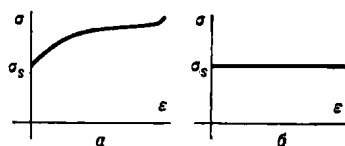


Рис. 1. Диаграммы напряжения σ и деформации ϵ растягиваемых образцов из жестко-пластического материала: а — материал с произвольным упрочнением; б — идеальный жестко-пластический материал.

с стесненным (напр., в толстостенной трубе под действием внутреннего давления внутр. часть находится

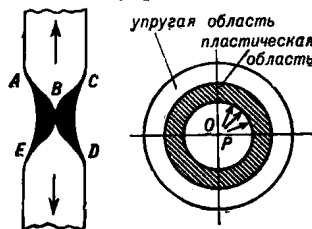


Рис. 2.

Рис. 3.

в пластич. состоянии, а внешняя — испытывает упругие деформации, ограничивающие величину пластич. деформаций, рис. 3), и понятие Ж.-п. т. физически не оправдано.

Модель Ж.-п. т. позволяет учесть в идеализированном виде такие свойства материалов, как пластич. течение, упрочнение, *Баушингера эффект*, анизотропию и т. п.

Большое развитие в математической теории пластичности (см. *Пластичности теория*) получила теория идеального (т. е. неупрочняющегося) Ж.-п. т. (рис. 1, б).

Лит.: 1) Качанов Л. М., Основы теории пластичности, М., 1956; 2) Прагер В. и Ходж К. Г., Теория идеально пластических тел, пер. с англ., М., 1956; 3) Хилл Р., Математическая теория пластичности, пер. с англ., М., 1956, гл. 6. Д. Д. Ивлев.

ЖЕСТКОСТЬ — способность тела или конструкции сопротивляться образованию деформаций. Если материал подчиняется *Гука закону*, то характеристикой Ж. является *модуль упругости E* при растяжении, сжатии, изгибе и модуль упругости *G* при сдвиге.

Ж. (конструктивная) характеризуется численно при растяжении и сжатии стержня — произведением ES (S — площадь поперечного сечения стержня); при изгибе балки — произведением EI (I — момент инерции поперечного сечения относительно нейтральной оси); при сдвиге — произведением GS ; при кручении — GI_k (I_k — момент инерции при кручении, т. е. геометрич. характеристика поперечного сечения, зависящая от его формы и размеров; для круглого и кольцевого сечений I_k — полярный момент инерции).

При изгибе пластин и оболочек жесткость равна $Eh^3/12(1 - \mu^2)$, где h — толщина их, μ — *Пуассона коэффициент*.

При проверке конструкции или элемента конструкции на Ж. устанавливаются границы возможных, с точки зрения эксплуатации, деформаций, которые не должны превышать определенных величин; напр., прогиб балки не должен превышать определенных долей длины пролета. Ж. имеет существенное значение при расчете конструкций на устойчивость.

В. Ф. Яценко.

ЖИВОЕ СЕЧЕНИЕ — сечение потока жидкости (в трубопроводе, канале, реке и т. п.), во всех своих точках перпендикулярное направлению вектора скорости. Практически за Ж. с. принимают сечение, перпендикулярное направлению вектора средней скорости на данном участке потока. Величина площади Ж. с. имеет существен. значение для определения рас-

хода воды и влияет на величину и распределение скоростей течения; кроме того, важными характеристиками Ж. с. являются средняя глубина, или *гидравлический радиус*, и форма сечения.

ЖИДКИЕ ДИЭЛЕКТРИКИ имеют весьма большое значение в электротехнике и в лабораторной практике вследствие их более высокой электрич. прочности, диэлектрич. проницаемости ϵ и удельной теплопроводности по сравнению с воздухом или другими газами при давлении, близком к атмосферному. Поэтому при удалении воздуха из пор в волокнистой или иной пористой твердой изоляции, из промежутков между обмотками и корпусом электрич. аппарата и т. п. и замещении его Ж. д. (при заливке Ж. д. корпусов трансформаторов, конденсаторов, блоков радиоаппаратуры, при пропитке Ж. д. бумажной изоляции конденсаторов или силовых кабелей высокого напряжения и т. п.) имеет место существенное повышение допускаемого рабочего напряжения аппарата и его мощности. При пропитке Ж. д. бумажной изоляции конденсатора удается также значительно повысить его емкость (см. *Бумаги электроизоляционные*).

Из Ж. д. наиболее широко применяются электроизоляционные минеральные (нефтяные) масла, представляющие собой тщательно очищенные от влаги и др. примесей и загрязнений продукты фракционной перегонки нефтей; по химич. составу это — смеси различных углеводородов, и потому они являются практически неполярными диэлектриками с ϵ порядка 2,2—2,4 и малым углом диэлектрич. потерь (после хорошей очистки $\text{tg} \delta$ при нормальной темп-ре менее 0,001). При повышении темп-ры $\text{tg} \delta$ быстро растет (рис. 1). Электрич. прочность масла сильно зависит от содержания в нем примесей, в особенности воды (рис. 2). Лишь у масел исключительно высокой степени очистки удается заметить зависимость электрич. прочности от состава и происхождения масел, у масел же обычной («технической») степени очистки электрич. прочность практически определяется наличием воды и др. примесей. На рис. 3 показан пример зависимости от темп-ры кинематической вязкости одного из электро-

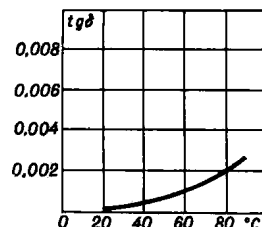


Рис. 1. Зависимость $\text{tg} \delta$ электроизоляционного (трансформаторного) масла (при частоте 50 гц) от температуры.

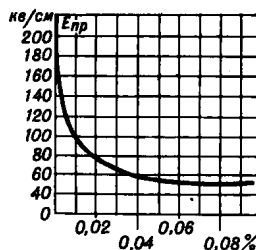


Рис. 2. Зависимость электрич. прочности трансформаторного масла от содержания в нем воды.

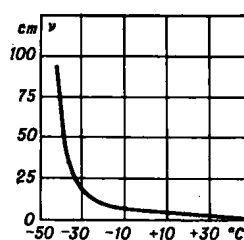


Рис. 3. Зависимость кинематической вязкости ν трансформаторного масла от температуры.

изоляц. масел; величина вязкости и степень ее снижения при повышении темп-ры являются практически весьма важными характеристиками масла. Плотность масла порядка 0,88—0,89 г/см³, удельная теплоемкость 0,43—0,58 ккал/кг · град, удельная теплопроводность 0,0015—0,00165 вт/см · град. Охлаждающая способность масла в 25—30 раз выше, чем воздуха. Объемный температурный коэфф. расширения 0,00065 град⁻¹.

Однако нефтяные электроизоляц. масла имеют и свои недостатки: они горючи, что может при неправильной эксплуатации явиться причиной пожаров и взрывов; при повышенных темп-рах (особенно выше 80—90° С) подвергаются тепловому старению, т. е. постепенному ухудшению свойств: повышается вязкость масла, оно темнеет, в нем образуются имеющие кислую реакцию продукты химического изменения, сперва растворимые в масле, а затем выпадающие в осадок. Старение масла существенно ускоряется при повышении темп-ры, при наличии катализаторов (в частности, меди и нек-рых др. металлов), при доступе кислорода, при действии света. Поэтому масло в электротехнич. установках приходится систематически очищать от продуктов старения («регенерировать») и принимать различные меры для замедления старения. При высоких рабочих темп-рах (примерно выше 120° С) масло практически непригодно. Кроме того, малое значение ϵ в случае применения масла для пропитки бумажных конденсаторов нежелательно, так как ограничивает ϵ пропитанной бумаги. Поэтому наряду с нефтяными маслами получают все более широкое распространение др. Ж. д., преимущественно синтетические.

Хлорированные углеводороды с несимметричным строением молекул (в СССР — совол и совтол)

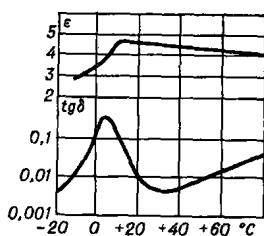


Рис. 4. Зависимость ϵ и $\text{tg } \delta$ соволы (при частоте 50 Гц) от температуры. Масштаб $\text{tg } \delta$ — логарифмический.

являются типичными поляризуемыми диэлектриками с повышенными значениями ϵ и характерными зависимостями ϵ и $\text{tg } \delta$ от темп-ры и частоты (рис. 4). Эти Ж. д., которые могут быть весьма разнообразными по физич. характеристикам, практически огнебезопасны, но при действии пламени выделяют дым и едкие газы, содержащие хлор; они широко применяются для пропитки бумажных конденсаторов, обеспечивая высокое значение емкости в данных размерах. Плотность соволы близка к 1,5 г/см³. Температурный коэфф. расширения 0,001 град⁻¹. Вязкость соволы много больше, чем электроизоляционных нефтяных масел.

Следующие ступени разработки и усовершенствования синтетических Ж. д. — кремнийорганические и фторорганич. жидкости (см. также *Электроизоляционные материалы*). Эти жидкости, обладая высокими электроизоляционными свойствами, весьма негорючие и могут употребляться в установках с очень высокими рабочими темп-рами. Фторорганич. жидкости совершенно негорючи. Для кремнийорганич. жидкостей характерна малая зависимость вязкости от темп-ры, но высокая сжимаемость при действии внешнего давления. В нек-рых устройствах для интенсивного охлаждения используются фторорганич. жидкости, к-рые в наиболее горячем месте испаряются, обеспечивая тем самым интенсивное охлаждение, а затем конденсируются в охлаждаемой части корпуса аппарата («кипящая изоляция»); при этом пользуются свойством фторорганич. соединений в виде газов и паров в смеси с воздухом повышать электрич. прочность последнего. Как кремнийорганические, так и фторорганич. жидкости обладают весьма высокими электроизоляц. свойствами и ничтожно малой гигроскопичностью. Это приводит к расширению области применения этих синтетич. Ж. д., хотя они пока еще сравнительно весьма дороги.

Лит.: 1) Бурьянов В. П., Трансформаторное масло, 3 изд., М.—Л., 1955; 2) Кан А. В., Косыкин А. Р., Старение и регенерация минеральных масел, М.—Л., 1946; 3) Крейн С. Э., Стабилизация турбинных и трансформатор-

ных масел, М.—Л., 1948; 4) Курлин М. В., Жидкие диэлектрики, в кн.: Справочник по электротехническим материалам, т. 1, ч. 1, под ред. Ю. В. Коричного и Б. М. Тареева, М.—Л., 1958; 5) Лосиков Б. В., Физико-химические основы регенерации масел, 2 изд., М.—Л., 1948; 6) Совол. Новая негорючая изолирующая жидкость, под ред. К. А. Андрианова и Ф. А. Квинтера, М.—Л., 1937; 7) Фторорганические электроизоляционные материалы, пер. статей под ред. Б. М. Тареева, М.—Л., 1957; 8) Черножуков Н. И., Крейн С. Э., Лосиков Б. В., Химия минеральных масел, М.—Л., 1951. См. также лит. к ст. Диэлектрики, Электроизоляционные материалы.

ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ (жидкокристаллическое состояние, мезоморфное состояние) — состояние, в котором обнаруживаются структурные свойства, промежуточные между свойствами твердого кристалла и жидкости. В таком состоянии могут находиться нек-рые вещества в определенном, характерном для каждого из них, температурном интервале. При более низких темп-рах вещество — твердый кристалл, при более высоких — оно превращается в обычную аморфную жидкость.

Характерная особенность Ж. к. — мутность, обусловленная беспорядочным двойным лучепреломлением. Ж. к. в толстых слоях неоднородно анизотропны и по своим оптич. свойствам подобны системе мелких хаотически ориентированных кристаллитов. Такая «спонтанная» (не вызванная воздействием внешнего поля) анизотропия Ж. к. существует наряду с большой текучестью: многие из них имеют вязкость, лишь незначительно превышающую вязкость воды.

Для образования Ж. к. необходима вытянутая линейная (неразветвленная) форма молекул вещества. По-видимому, весьма существен. роль играет также наличие бензольных колец в молекулярной цепи. Напр., параазоксианизол (рис. 1, а), дающий Ж. к. от 114°

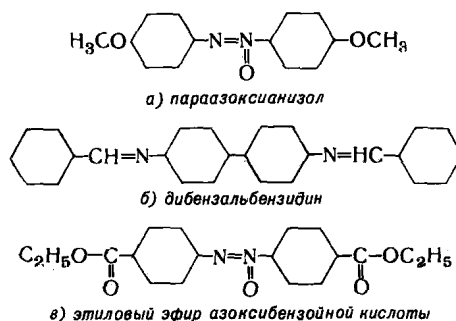


Рис. 1.

до 135° С, дибензальбензидин (234—260° С; рис. 1, б) или этиловый эфир азоксибензойной кислоты (100—120° С; рис. 1, в).

В нек-рых случаях бензольное кольцо может быть заменено диеновой группой (двумя двойными связями $\text{C}=\text{C}$). Ж. к. дают также производные холестерина (напр., холестерилбензоат), хотя их молекулы имеют форму плоских пластин.

Различают 2 основных типа жидкокристаллич. веществ: «нематический» и «смектический» [терминология Ж. Фриделя (G. Friedel)], или, соответственно, «жидкие кристаллы» и «текущие кристаллы» [более старая терминология О. Лемана (O. Lehmann)]. Их внешние различия легко заметны при наблюдении в поляризац. микроскоп. Нематич. Ж. к. в сплошном слое обнаруживают характерные нитеобразные структуры; отдельные их капли, окруженные аморфно-жидкой средой, имеют сферич. форму. Смектич. Ж. к. в поляризованном свете весьма схожи с растворами мыла, а образуемые ими капли нередко имеют форму конусов, палочек и ступенчатых структур.

По данным рентгеноструктурного анализа, как в аморфно-жидкой, так и в нематич. фазах, молекулы

расположены так, что их длинные оси взаимно параллельны, однако в первом случае существует ориентационный ближний порядок, а во втором (рис. 2, а) — ориентац. дальний порядок (одноосный, т. к. дальняя корреляция в направлениях поперечных осей молекул отсутствует).

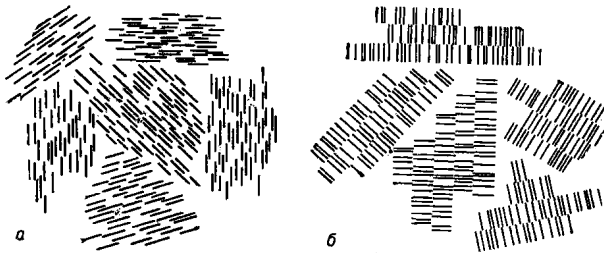


Рис. 2. Состояние упорядоченности нематического (а) и смектического (б) мезоморфного вещества (по Фриделю).

кулы отсутствует). Координац. дальний порядок (упорядоченность во взаимном расположении центров тяжести молекул) в нематич. Ж. к., как и в обычной аморфной жидкости, отсутствует. Это связано со свободой всех 3 поступат. перемещений молекул. Поэтому вязкость вещества в нематич. фазе мало отличается от его вязкости в аморфно-жидком состоянии.

В смектич. Ж. к. существуют эквидистантные (смектич.) плоскости, в к-рых закреплены концы молекул, тогда как продольные оси молекул нормальны к этим плоскостям (рис. 2, б). Координац. и ориентац. порядки в направлениях, нормальных продольным осям молекул, как и в нематич. жидкостях, отсутствуют. С понижением темп-ры, по-видимому, возможно появление плотной гексагональной пиллидрич. упаковки палочкообразных молекул. Смектич. Ж. к. — вещества с одноосным ориентационным и одномерным (в направлении продольных осей молекул) трансляционным дальним порядком. Общая трансляц. подвижность молекул (текучесть) и ступенчатая форма капель смектич. Ж. к. обеспечивают взаимным скольжением смектич. плоскостей.

Ж. к. холестерич. типа (разновидность нематич. Ж. к.) характеризуются одноосным ориентац. порядком, возникающим за счет параллельной ориентации плоскостей пластинчатых молекул. При этом ось симметрии кристалла нормальна к молекулярным плоскостям. Координац. порядок здесь отсутствует, а текучесть вещества обеспечивается поступат. скольжением и вращением молекул в их плоскости.

По степени молекулярной упорядоченности Ж. к. занимают промежуточное положение между твердыми кристаллами (трехмерный координац. и трехосный ориентац. дальний порядок) и аморфными жидкостями (отсутствие дальнего порядка), отсюда назв. «мезофаза» (мезо — промежуточная). Более высокая степень порядка смектич. фазы по сравнению с нематической, по-видимому, объясняется тем, что распределение центров молекулярного взаимодействия в молекулах нематич. Ж. к. более равномерно по их длине (азоксианизол), тогда как молекулы смектич. Ж. к. содержат отдельные более локализованные центры сильного притяжения (напр., концевые группы этилового эфира азоксибензойной кислоты). Поэтому потенц. энергия взаимодействия двух палочкообразных молекул нематич. Ж. к. зависит гл. обр. от угла между их осями, а в смектич. Ж. к. она значительно изменяется также и при их параллельном смещении.

Одно и то же вещество иногда может находиться в двух мезоморфных состояниях (напр., этиловый эфир параэтоксисбензальминокоричной кислоты); при этом температурный интервал смектич. состояния лежит ниже интервала нематич. фазы. Фазовые пере-

ходы в мезоморфных веществах всегда происходят в определенном порядке: 1) твердокристаллич. фаза $\rightleftharpoons$ смектическая $\rightleftharpoons$ нематическая $\rightleftharpoons$ аморфно-жидкая или 2) твердокристаллическая $\rightleftharpoons$ смектическая $\rightleftharpoons$ аморфно-жидкая. В точках перехода имеет место ступенчатое (скачкообразное) изменение степени упорядоченности, т. е. это — фазовые превращения 1-го рода, что подтверждается также существованием конечной (хотя и незначительной) теплоты превращения. Для азоксианизола теплота плавления нематич. фазы в аморфную составляет 1,8 ккал/г, что в десятки раз менее обычных теплот плавления органич. твердых кристаллов. Малая разница в свободных энергиях (химич. потенциалах) жидкокристаллич. и аморфно-жидкого состояний приводит к возникновению в изотропной фазе ряда веществ т. н. гетерофазных флуктуаций, обнаруживающихся по аномально большим величинам магнитного и диэлектрич. двойного лучепреломления вблизи темп-р превращения в анизотропно-жидкую фазу.

В подвижных Ж. к. нематич. типа под влиянием магнитного или электрич. поля или ориентирующего действия поверхности твердого тела получается однородно ориентированное в больших объемах вещество, анизотропное по оптич., диамагнитным и диэлектрич. свойствам с симметрией одноосного кристалла. Для нематич. Ж. к. оптич. и диамагнитная анизотропии, как правило, положительны (максимум поляризуе-

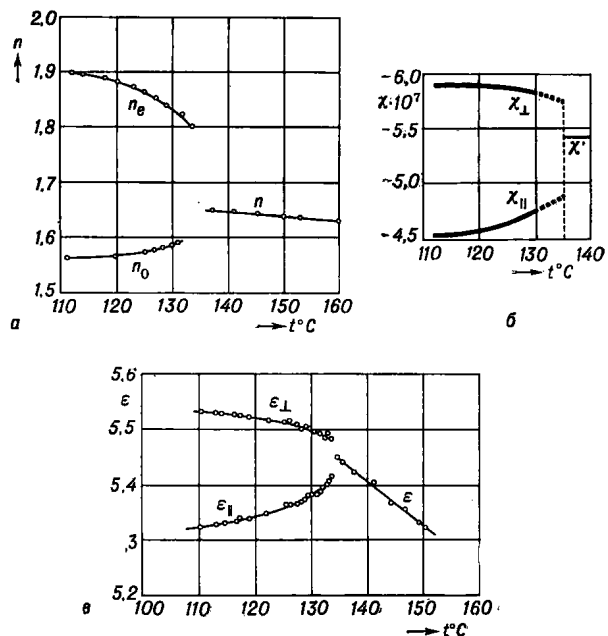


Рис. 3. Оптические (а), диамагнитные (б) и диэлектрические (в) свойства параазоксианизола в мезоморфном и аморфно-жидком состояниях: n — показатель преломления; χ — удельная диамагнитная восприимчивость; ϵ — диэлектрическая проницаемость в аморфно-жидком состоянии; n_o , $\chi_{||}$, $\epsilon_{||}$ и n_e , $\chi_{\perp}$, $\epsilon_{\perp}$ — те же величины в направлении, параллельном и перпендикулярном молекулярным осям мезоморфной фазы.

мости и минимум диамагнетизма в направлении оптич. оси). Диамагнитная анизотропия в основном обусловлена наличием бензольных колец в молекуле и пропорциональна их числу. Диэлектрич. анизотропия может быть как положительной, так и отрицательной, в зависимости от величины и направления дипольного момента в молекуле. Температурная зависимость оптич., диамагнитных и диэлектрич. свойств параазоксианизола представлена на рис. 3

С ростом темп-ры анизотропия мезоморфной фазы падает в соответствии с уменьшением степени упорядоченности. Ж. к. также анизотропны в своих гидродинамических свойствах, электропроводности и вязкости. При действии внешних сил, стремящихся изменить направление молекулярных осей (магнитное поле, поворот ориентирующей поверхности твердого тела), в однородно ориентированных анизотропно-жидких слоях могут иметь место упругие деформации из-за наличия ориентационного дальнего порядка. При этом возникают структуры, в к-рых направления осей молекул плавню меняются от слоя к слою, аналогично картинам, наблюдаемым в обычных твердых телах при деформациях изгиба или кручения. Однако между деформациями твердого и жидкого кристаллов имеется существенное различие. В твердом теле восстанавливающимися упругими силами являются силы, противодействующие сдвигам. В Ж. к. при неизменном объеме в равновесных условиях такие силы отсутствуют. При «изгибе» нематич. Ж. к. возникают восстанавливающие упругие моменты сил, непосредственно противодействующие искривлениям, т. е. изменениям углов между молекулярными осями. Основное ур-ние упругой деформации Ж. к. аналогично закону Гука $M = A d\varphi/dx$, где M — упругий вращающий момент, приложенный к единице площади сечения анизотропной жидкости, нормального оси x , вдоль к-рой имеет место градиент угла ориентации молекулярных осей ($d\varphi/dx$ — мера деформации), A — константа (модуль) упругости вещества, имеющая размерность силы. Величина A может быть определена экспериментально методом изучения деформации анизотропно-жидких слоев в магнитном поле. Она имеет порядок величины 10^{-6} дин и резко уменьшается с повышением темп-ры Ж. к.; A непосредственно зависит от энергии упорядочения вещества и может быть теоретически связана с теплотой превращения мезофазы в аморфную жидкость.

Характерные свойства обнаруживают Ж. к. в опытах по изучению кинетики их деформации внешним полем. При включении поля, изменяющего направление, переориентация молекулярных осей Ж. к. протекает весьма медленно (неск. секунд, в аморфной жидкости 10^{-10} — 10^{-12} сек.). Поэтому во вращающемся поле анизотропно-жидкое вещество приходит во вращательное движение, причем его ось следует за направлением поля с нек-рым сдвигом по фазе. Это явление было использовано для определения диамагнитной анизотропии Ж. к.

Молекулярный порядок, аналогичный жидкокристаллическому, иногда наблюдается также у веществ, к-рые не мезоморфны в обычном смысле слова. Так, в водных растворах щелочных солей жирных кислот (мыла) образуются мицеллы, имеющие структуру смектич. Ж. к. Смектич. порядок существует также в нек-рых высокомолекулярных веществах (нити из найлона). Теория Ж. к. разработана слабо. Получены [5] лишь общие соотношения, описывающие свойства жидкостей при нецентральной взаимодействии частиц.

Лит.: 1) K a s t W., Ordnung in mesomorphen Schmelzen und Seifenlösungen, в кн.: Die Physik der Hochpolymeren, Bd 3, В., 1955; 2) М о л о д з е в с к и й А. Б., Молекулярная физика, 5 изд., М.—Л., 1941; 3) Z. Kristallg., 1931, Bd 78, H. 1—4; 4) Configurations and interactions of macromolecules and liquid crystals, «Dis. Faraday Soc.», 1958, № 25, p. 1—8, 79; 5) Г л а у б е р м а н А. Е., Теория систем с нецентральной законом взаимодействием частиц, ИАН СССР. Сер. физ., 1958, т. 22, № 3, с. 254, 262. В. Н. Цветков.

ЖИДКИЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ — вещества, обладающие полупроводниковыми электр. свойствами в жидком состоянии. Наиболее изученную и важную группу Ж. п. представляют расплавы оксидов, сульфидов, селенидов и теллуридов. Ж. п. могут обладать как электронной, так и дырочной проводимостью. Классич. примером Ж. п. с дырочной проводимостью

является расплавленный селен. В случае оксидов, селенидов, сульфидов и теллуридов тяжелых металлов, начиная с металлов первой переходной группы, в расплавах обычно наблюдается преобладание электронной проводимости.

В достаточно широком интервале температур полупроводниковые свойства жидкости могут перейти в металлические. Подобный переход связан с соответствующими изменениями структуры жидкости и преобладающего типа связи. Так, система Te—Se является хорошим примером не только закономерного изменения структуры расплава и электр. свойств при переходе от теллура к селену, но, что более существенно, на примере этой системы видно, что по мере прогрева этих расплавов отчетливо проявляется решающая роль ближнего порядка для полупроводниковых свойств.

Все сплавы системы Te—Se в твердом состоянии являются по электр. свойствам полупроводниками. Плавление этих сплавов сказывается на их свойствах по-разному в зависимости от состава. Теллур и сплавы, богатые теллуром, при плавлении и дальнейшем прогреве жидкости дают быстрое уменьшение удельного сопротивления и при достаточном нагреве становятся типичными жидкими металлами. В этой группе сплавов в жидком состоянии наблюдается отчетливое соответствие между переходом от полупроводниковых свойств к металлическим и изменением структуры расплава, связанным с разрушением (диссоциацией) гомеополарных связей вдоль цепочек и усилением металл. связей. Температурный интервал, отделяющий этот переход от темп-ры плавления, возрастает от 80° С для чистого теллура до неск. сот градусов для сплавов с содержанием 20—40% Se. Структурные изменения в этих расплавах отчетливо видны из температурного хода вязкости, к-рая при достаточном нагреве становится типично металлической, хотя вблизи темп-ры плавления сказывается наличие цепочечной структуры в расплавах.

Анализ данных показывает необходимость учета изменения характера связей (статистика ближнего порядка), происходящего в процессе нагревания. Эти выводы согласуются с «аномальной» температурной зависимостью плотности расплавов, богатых теллуром. Наблюдающиеся максимумы плотности расплавов при изменении температурной зависимости плотности связаны с процессом быстрой металлизации связей при нагреве расплава и соответствующей этому более плотной средней упаковке, что перекрывает обычный эффект расширения тела при нагревании.

Сплавы, богатые селеном, ведут себя прямо противоположно сплавам, богатым теллуром. Действительно, при плавлении их сопротивление значительно возрастает, и температурная зависимость электропроводности расплава имеет типичный полупроводниковый ход. Вязкость этих расплавов даже при высоких темп-рах значительно выше, чем у металлов, и металлизация их свойств с нагреванием до 800° С практически не наблюдается. Плавление этих сплавов сопровождается значительным расширением, что соответствует разрыхлению связей между цепочками, составляющими вещество.

Между этими крайними случаями имеются и все промежуточные. В частности, при составе расплава 70% Se и 30% Te электропроводность при плавлении почти не изменяется, температурная зависимость сопротивления в твердом и жидком состояниях примерно одинакова и относительно мала.

Другим характерным примером изменения свойств полупроводников при плавлении являются данные о электропроводности и плотности Si, Ge, GaSb, InSb, HgSe, HgTe в твердом и жидком состояниях (см. рис.) [5, 6]. Для Si экспериментально доказано