





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 • 1963

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 ТРЕТИЙ

Литосфера — Пи-мезоны

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), В. М. ВУЛ (общие вопросы электричества, диэлектрики и полупроводники), Д. В. ЗЕРНОВ (электронные и ионные приборы), Н. А. КАЩОВ, С. Ю. ЛУКЬЯНОВ (электроника). Редактор-консультант Л. А. ЖЕКУЛИН (электротехника). Научные редакторы: Э. Р. ВЕЛИБЕКОВ (общие вопросы электричества, электротехника), Ю. Н. ДРОЖЖИН (магнетизм, электрические измерения), М. Н. ФЛЕРОВА (диэлектрики, полупроводники, электроника), С. М. ШАПИРО (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.

Автоматическое регулирование и управление. Редактор-консультант М. А. АЙЗЕРМАН. Научный редактор Н. Г. СЕМАШКО.

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), Н. Г. СЕМАШКО (волновая оптика).

Атомная и ядерная физика. Члены редакционной коллегии: И. И. ГУРЕВИЧ (ядерная физика), С. Ю. ЛУКЬЯНОВ (атомная физика). Редакторы-консультанты: М. А. ЕЛЫШЕВИЧ (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. ШУБНИКОВ (физика твердого тела). Редакторы-консультанты: М. В. ВОЛЬКЕНШТЕЙН (полимеры), И. В. ОБРЕИМОВ (физика твердого тела). Научные редакторы: Ю. Н. ДРОЖЖИН (фазовые превращения), 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. РАБИНОВИЧ. 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. Научный редактор С. А. КОРДЮКОВА.

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. БИТЮЦКОВ.

Метрология. Редактор-консультант Г. Д. БУРДУН. Научный редактор Ю. Н. ДРОЖЖИН.

Научно-контрольный редактор П. В. СЫСОВ.

Редактор словаря В. В. ТАБЕНСКИЙ.

Литературный редактор А. Ф. ПРОШКО; младшие редакторы — З. А. КОСАРЕВА, А. А. СИЛАЕВА; редактор по иллюстрациям В. А. АЛЕКСЕЕВ; редакция библиографии — В. А. ГАЛЬМИНАС, Е. И. ЖАРОВА; корректорская — М. В. АКИМОВА, Ю. А. ГОРЬКОВ, А. В. МАСЛОВА, Л. В. ПИТАЛЕВА, Л. Н. СОКОЛОВА; технический редактор И. Д. КУЛИДЖАНОВА.

Л

ЛИТОСФЕРА — то же, что земная кора (см. *Земля*).

ЛИТР — единица измерения объема и емкости (вместимости) в метрической системе мер, равная $1,000028 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (ГОСТ 7664—55). Обозначается л или л. — это объем 1 кг чистой, свободной от воздуха воды при давлении 760 мм рт. ст. и температуре наибольшей плотности воды (4°C) (решение III генеральной конференции по мерам и весам, 1901 г.). Разница между объемом в 1 дм³ и 1 л обусловлена тем, что современное определение килограмма отличается от первоначального. В практике, при обычных измерениях, этой разницей пренебрегают и принимают, что 1 л = 1 дм³. Г. Д. Вурдун.

ЛИТРОАТМОСФЕРА — внесистемная единица работы или энергии, равная работе расширения газа на 1 литр против постоянного внешнего давления в 1 атмосферу. Обозначается л · атм, latm, или lat. Если единицей давления служит физич. атмосфера, то 1 л · атм (1 latm) = 101,3278 джоуля; если технич. атмосфера, то 1 lat = 98,0692 джоуля. В СССР принято только первое значение Л.

ЛИУВИЛЛЯ ТЕОРЕМА — теорема механики, согласно к-рой для системы, подчиняющейся ур-ниям механики в форме Гамильтона, фазовый объем остается постоянным при движении системы. Установлена Ж. Лиувиллем (J. Liouville) в 1851 г.

Рассмотрим механич. систему, к-рая описывается обобщенными координатами и импульсами q_i, p_i ($i = 1, 2, \dots, N$), удовлетворяющими ур-ниям Гамильтона:

$$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \quad \dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i} \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad (1)$$

где H — Гамильтона функция системы, а точка означает производную по времени. Эволюцию системы во времени можно представить как движение фазовой точки с координатами $q_1, q_2, \dots, q_N, p_1, p_2, \dots, p_N$ (или коротко q, p) в $2N$ -мерном фазовом пространстве.

Л. т. утверждает, что если в начальный момент времени $t=0$ фазовые точки q^0, p^0 непрерывно заполняли нек-рую область G_0 в $2N$ -мерном пространстве, а в момент времени t они заполняют область G_t , то соответствующие фазовые объемы равны между собой, т. е.

$$\iint_{G_0} dq^0 dp^0 = \iint_{G_t} dq dp, \quad (2)$$

где $dq^0 dp^0 = dq_1^0 dq_2^0 \dots dq_N^0 dp_1^0 dp_2^0 \dots dp_N^0$; $dq dp = dq_1 dq_2 \dots dq_N dp_1 dp_2 \dots dp_N$. Другими словами, движение фазовых точек, изображающих систему в фазовом пространстве, подобно движению несжимаемой жидкости.

Л. т. является следствием того, что якобиан преобразования от переменных q^0, p^0 к переменным q, p (т. е. якобиан канонического преобразования) в силу ур-ний Гамильтона равен единице:

$$\frac{\partial (q_1, \dots, q_N, p_1, \dots, p_N)}{\partial (q_1^0, \dots, q_N^0, p_1^0, \dots, p_N^0)} = 1 \quad (3)$$

и потому $dq^0 dp^0 = dq dp$.

Инвариантность фазового объема позволяет ввести в статистич. механике ф-цию распределения вероятности $f(p, q)$ такую, что $dw = f(p, q) dp dq$ есть вероятность того, что фазовая точка, изображающая состояние системы, находится в элементе фазового объема $dp dq$. При движении системы фазовых точек их число сохраняется, поэтому если точки из интервала $dp dq$ перешли в $dp' dq'$, то $f(p, q) dp dq = f(p', q') dp' dq'$, откуда следует, что $f(p, q) = f(p', q')$. Т. о., функция распределения постоянна вдоль фазовых траекторий системы, следовательно

$$\frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + \sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial q_i} \frac{\partial q_i}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial p_i} \frac{\partial p_i}{\partial t} \right) = 0,$$

или, учитывая (1),

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -\{f, H\}_{qp} = \sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial q_i} \frac{\partial H}{\partial p_i} - \frac{\partial f}{\partial p_i} \frac{\partial H}{\partial q_i} \right), \quad (4)$$

где $\{f, H\}$ — Пуассона скобки.

Из постоянства ф-ции распределения f вдоль фазовых траекторий следует важный для статистич. механики вывод, что f может зависеть лишь от интегралов движения системы.

В квантовой статистич. механике система описывается статистич. оператором (или матрицей плотности) ρ , к-рый удовлетворяет квантовому ур-нию Лиувилля:

$$i\hbar \frac{\partial \rho}{\partial t} = -[\rho, H], \quad (5)$$

где квадратные скобки означают коммутатор операторов ρ и H , т. е. $[\rho, H] = \rho H - H\rho$. Ур-ние (5) является квантовым аналогом классич. ур-ния Лиувилля (4) и выражает Л. т. для случая квантовой статистики. Стационарным решением ур-ния Лиувилля является произвольная ф-ция от H , вид к-рой определяется типом статистич. ансамбля.

Л. т. часто применяется для облегчения решения и вполне конкретных задач. Так, если рассматривается поток частиц, вошедших в нек-рое силовое поле с разбросом начальных импульсов и координат, то, применяя Л. т., можно получить заключение о плотности потока этих частиц после прохождения поля.

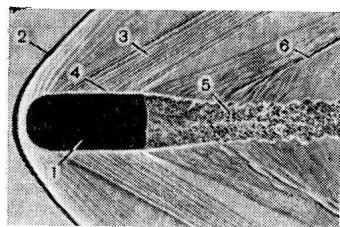
Лит.: 1) Леонтович М. А., Статистическая физика, М.—Л., 1944; 2) Хилл Т., Статистическая механика, пер. с англ., М., 1960. Д. Н. Зубарев.

ЛОБОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ — составляющая (проекция) силы, с к-рой среда действует на движущееся в ней тело, на направление скорости поступательного движения тела относительно среды; направлено всегда в сторону, противоположную скорости. Величину Л. с. характеризуют безразмерным коэфф.,

$$c_x = X / \frac{\rho v^2}{2} S,$$

где X — сила Л. с. в кгс, ρ — плотность среды в кг · сек²/м⁴, v — скорость движения тела относительно среды в м/сек и S — характерная площадь тела в м².

Величина c_x зависит от формы движущегося тела, ориентации его относительно вектора скорости и безразмерных критериев подобия: M -числа, Рейнольдса числа (Re), Фруда числа (Fr) и др. В идеальной и несжимаемой жидкости, заполняющей безграничное пространство, Л. с. тела конечных размеров равно нулю (*Д'Аламбера—Эйлера парадокс*). При движении того же тела в реальной среде появляется сила Л. с., являющаяся результатом необратимого перехода части кинетич. энергии в тепло. В аэродинамике принято коэфф. Л. с. представлять в виде суммы сопротивлений: формы, трения, индуктивного, волнового и донного. Относительная величина слагаемых этой суммы зависит от формы движущегося тела, характера его поверхности, скорости и высоты полета. Например, для самолета, летящего с малой дозвуковой скоростью, Л. с. будет суммой сопротивлений:



Теневая фотография осесимметричного тела, летящего в воздухе с числом $M = 1,8$; 1 — летящее тело, 2 — головная ударная волна, 3 — волны Маха, 4 — пограничный слой, 5 — донный след за телом, 6 — хвостовые ударные волны.

формы, трения и индуктивного. Число Re — основной безразмерный критерий подобия, функцией которого является коэфф. Л. с.

Для осесимметричного затупленного тела, летящего со скоростью, превышающей скорость звука (см. рисунок), Л. с. будет суммой сопротивлений: волнового, трения и донного. Определяющими в этом случае будут числа M

и Re . При достаточно больших $Re \geq 10^7$ и значительных $M > 5$ Л. с. данного тела близко по величине к волновому сопротивлению, а коэфф. Л. с. перестает зависеть от M и Re . При гиперзвуковых скоростях полета торможение газа в головной ударной волне сопровождается диссоциацией молекул газа, при этом у затупленных тел, обтекание к-рых сопровождается образованием отходящей ударной волны, Л. с. возрастает.

Лит.: 1) Жуковский Н. Е., Теоретические основы воздухоплавания, Собр. соч., т. 6, М.—Л., 1950; 2) Дандау Л. Д. и Лифшиц Е. М., Механика сплошных сред, 2 изд., М., 1953, с. 47—53, 210—225, 548—568; 3) Остославский И. В., Титов В. М., Аэродинамический расчет самолета, М., 1947, с. 97—142. М. Я. Юделович.

ЛОВУШКИ (в полупроводниках) — нарушения периодичности решетки полупроводникового кристалла, на к-рых возможна локализация («захват») электронов из зоны проводимости или дырок из валентной зоны (см. Зонная теория). Л. могут быть различные по своей физической природе образования — чужеродные (примесные) атомы в узлах и междоузлиях кристалла, вакантные узлы решетки (дефекты Шоттки), атомы, смещенные из равновесных положений (дефекты Френкеля), дислокации, границы микрокристалликов и другие.

Рис. 1. Электронные переходы между дискретными уровнями ловушки и зонами в полупроводнике.

С Л., т. е. несовершенствами кристаллич. решетки, связаны дискретные уровни в запрещенной зоне энергетического спектра электронных состояний (рис. 1). В квантовых состояниях, соответствующих этим

дискретным уровням, электроны локализованы на Л. Локализация электрона происходит при переходе его из зоны проводимости на дискретный уровень (a на рис. 1). Переход электрона с дискретного уровня в валентную зону (e на рис. 1) можно трактовать как захват дырки ловушкой. Обратные переходы (c и d на рис. 1) представляют собой соответственно акты выброса (делокализации) электрона и дырки.

Простейшей моделью Л. в полупроводнике является водородоподобный атом. Если диэлектрич. проницаемость κ кристалла достаточно велика (≥ 10), то влияние электрич. поля кристаллич. решетки может быть описано феноменологически через поляризацию кристалла. В таком случае энергия связи электрона в Л. равна $E \approx \frac{m^* e^4}{2\hbar^2 \kappa^2} \approx 0,1 - 0,01$ эв, а радиус боровской орбиты основного состояния локализованного электрона $r \approx \frac{\hbar^2}{m^* e^2} \kappa^2 \approx 5 \cdot 10^{-8}$ см.

Соответствующее геометрич. сечение Л. порядка 10^{-15} см². Экспериментальные значения эффективных сечений захвата Л. электрона и дырки в полупроводниках лежат в пределах $10^{-12} - 10^{-22}$ см². Большие сечения обусловлены, по-видимому, кулоновским полем заряженной Л. Если акт захвата электрона (или дырки) требует энергии активации, то эффективные сечения захвата меньше геометрич. размеров Л. Малые значения эффективных сечений могут быть также обусловлены малой вероятностью перехода вследствие правил отбора.

После захвата электрона Л. он может: 1) вновь быть выброшен в зону проводимости и 2) перейти в валентную зону.

Если преобладает вероятность термического выброса электрона в зону проводимости, то Л. представляет собой центр прилипания электрона. Если преобладает вероятность перехода в валентную зону, т. е. захват дырки вслед за захватом электрона, то Л. служит центром рекомбинации избыточных электронов и дырок. Аналогично Л. может быть центром прилипания дырок (рис. 2). В этом случае дырка, захватываемая из валентной зоны, вновь выбрасывается в эту же зону.

Тот или иной характер Л. определяется положением ее энергетич. уровня (или уровней, если Л. многозарядная), эффективными сечениями захвата электрона и дырки, а также концентрациями электронов и дырок в зонах, т. е. положением уровня или квазиуровней Ферми. В зависимости от природы нарушения структуры, положения уровней, зарядового состояния, а также характера изучаемого явления (фотопроводимость, люминесценция и др.) Л. может быть донором или акцептором, центром прилипания или центром рекомбинации, активатором или тушителем (см. Люминесценция) излучения и др.

В литературе нет твердо установившейся терминологии. Иногда Л. наз. только центры прилипания; иногда — только центры рекомбинации.

Лит.: 1) Даниэляс У., Введение в физику полупроводников, пер. с англ., М., 1959, гл. 4; 2) Адирович Э. И., Некоторые вопросы теории люминесценции кристаллов, 2 изд., М., 1956, гл. 3—4; 3) Лах М., «Phys. Chem. Solids», 1959, т. 8, р. 66; 4) Роуза А., в сб.: Проблемы физики полупроводников, пер. с англ., М., 1957, с. 130. Э. И. Адирович.

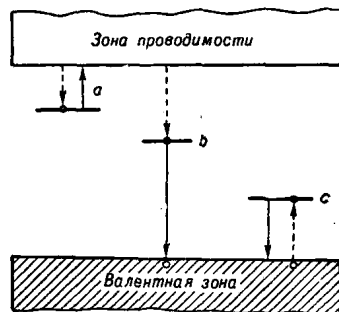


Рис. 2. Центр прилипания электрона (a); центр рекомбинации (b); центр прилипания дырки (c).

ЛОВУШКИ ВАКУУМНЫЕ служат для улавливания мигрирующих из высоковакуумного насоса паров рабочей жидкости, а также для уменьшения парциального давления пара в откачиваемом объеме. В пароструйных насосах при истечении пара из сопла часть струи направлена в сторону откачиваемого объема, что является основным источником миграции пара; другими, менее значимыми источниками являются: конденсат рабочей жидкости, находящийся на стенках корпуса насоса в верхней его части и испаряющийся при темп-ре стенок; частичная конденсация пара из струи на поверхности сопла с последующим испарением конденсата при высокой темп-ре сопла. Для улавливания макроколичеств рабочей жидкости, обусловленных выносом пара из струи, служат т. н. отражатели. Нек-рые типы отражателей изображены на рис. 1; *a* и *б* — жалюзийные отражатели, охлаждаемые водой; *в* — подогревный отражатель, дей-

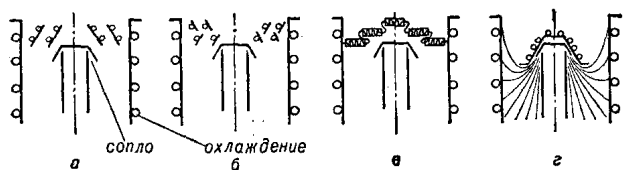


Рис. 1.

ствие к-рого заключается в «отражении» паров за счет создаваемого температурного градиента (в случае масляных насосов), в разложении паров масла на нагретых пластинах; образующиеся газообразные продукты откачиваются насосом. Отражатели *a*, *б* и *в* обладают значит. сопротивлением потоку откачиваемого газа, снижающим быстроту действия насоса в 1,5—2 раза. Колпачковый отражатель (рис. 1, *г*) представляет собой колпачок, закрепленный на фланце и размещаемый над первым соплом насоса. Действие его основано на «срезании» линий тока пара, направленных вверх и не замыкающихся на холодные стенки корпуса насоса. При этом быстрота действия насоса уменьшается лишь на 15—25%. Колпачковые отражатели установлены на многих отечественных пароструйных насосах.

Для улавливания микроколичеств рабочей жидкости, мигрирующих в откачиваемый объем из-за испарения конденсата со стенок насоса и сопла, применяются ловушки, охлаждаемые жидким азотом или др. охлаждающим веществом. Они устанавливаются в основном на входе в высоковакуумные насосы. Устройство их основано на введении в вакуумную систему охлажденных до низкой темп-ры поверхностей, расположенных таким образом, чтобы молекулы пара, вылетающие с внутренней поверхности насоса, не могли пролетать в откачиваемый объем, не столкнувшись с охлажденными элементами ловушки. Наиболее распространенные конструкции таких ловушек приведены на рис. 2. Ловушки *a* и *б* изготавливаются из тугоплавкого молибденового стекла; ловушка *a* охлаждается снаружи погружением в сосуд с охлаждающим веществом; в ло-

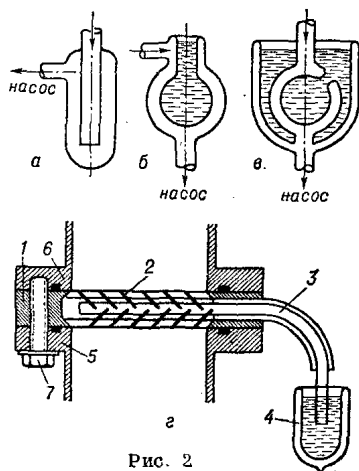


Рис. 2

вушке *б* охлаждающее вещество помещается во внутренний объем. У ловушек *a* и *б* часть рабочей поверхности не охлаждается (внутренняя трубка в случае *a*, наружный пар в случае *б*), что является их недостатком. Более совершенной является конструкция ловушки *в*, где охлаждаются все рабочие поверхности. Металлич. ловушка «жалюзийного» типа *г*, широко применяемая в промышленных вакуумных установках, представляет собой набор медных пластин 2, приваренных под углом к медному стержню 3, вмонтированному во фланец 1. Один конец стержня выводится герметично и погружается в сосуд с охлаждающим веществом 4 (на рис. даны также обозначения: 5 — фланец насоса, 6 — фланец откачиваемого объема, 7 — стягивающая шпилька). Такие Л. в. применяются как в паромасляных, так и в парортутных насосах. Для масляных ловушек этого типа основным требованием к конструкции является «непрозрачность» ловушки, если смотреть на нее с любой точки внутренней поверхности насоса. Это обусловлено тем, что длина свободного пробега молекул пара, мигрирующего со стенок насоса, велика (10^5 см), т. е. давление масляного пара при темп-ре стенок 20°C мало (10^{-8} — 10^{-9} тор); поэтому молекулы пара будут двигаться только по прямолинейным траекториям и, следовательно, обязательно столкнутся с холодными пластинами ловушки. В качестве охлаждающего вещества для масляных ловушек применяются: смесь сухого льда с ацетоном (-78°C) и жидкий азот (-195°C). При этих температурах коэфф. аккомодации (см. Аккомодации коэфф.циент) масла практически равен единице и молекулы масляного пара после первого соударения удерживаются холодной поверхностью.

Для парортутных насосов обычной «непрозрачности» ловушки недостаточно, т. к. упругость паров ртути при темп-ре стенки насоса довольно велика (10^{-3} тор), и соответственно велико число столкновений между молекулами (каждая молекула испытывает около 10^4 соударений в сек с др. молекулами). Следовательно, при больших расстояниях между холодными поверхностями молекула ртути, двигаясь по искривленной траектории, может проскочить ловушку. Поэтому в ртутных ловушках каналы, по к-рым течет пар, делаются более узкими и более длинными в сравнении с масляными ловушками. При применении же типовых масляных ловушек в парортутных насосах достаточное снижение парциального давления паров ртути достигается при установке неск. (двух-трех) последовательно соединенных ловушек. В качестве охлаждающего вещества для ртутных ловушек применяется жидкий азот или жидкий воздух. Применение охлаждающих веществ с более высокой темп-рой кипения для ртутных ловушек нежелательно, т. к. с повышением темп-ры охлаждаемой поверхности существенно уменьшается коэфф. аккомодации ртути. Коэфф. аккомодации ртути на стекле при темп-рах ниже -140°C практически равен 1, а при более высоких темп-рах быстро падает [1]. Так, при темп-ре -78°C вероятность удержания молекулы ртути поверхностью стекла с первого соударения равна всего лишь $2 \cdot 10^{-4}$.

Лит.: 1) Knudsen M., «Ann. Phys.», 1916, Bd 50, S. 472; 2) Цейтлин А. В., Вакуумные пароструйные насосы, М., 1960.

А. Б. Цейтлин.

ЛОВУШКИ МАГНИТНЫЕ — см. Магнитные ловушки.

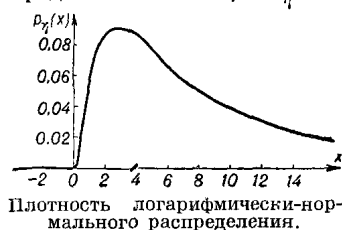
ЛОГАРИФИЧЕСКИЙ ДЕКРЕМЕНТ — см. Декремент затухания.

ЛОГАРИФИЧЕСКИ-НОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ — специальный вид распределения вероятностей случайных величин. Если ξ имеет нормальное распределение и $\eta = e^\xi$, то η имеет Л.-н. р., ха-

рактизирующееся плотностью:

$$p_{\eta}(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\ln x - m]^2}{2\sigma^2}} & \text{при } x > 0, \\ 0 & \text{при } x \leq 0. \end{cases}$$

Здесь m и σ — параметры распределения величины ξ . Среднее значение η : $m_{\eta} = e^{m+\sigma^2/2}$ дисперсия: $\sigma_{\eta}^2 =$



Плотность логарифмически-нормального распределения.

Лит.: Халльд А., Математическая статистика с техническими приложениями, пер. с англ., М., 1956, гл. 7, § 2. В. И. Битюков.

ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ — электрич., механич. и др. устройства, моделирующие к.-л. ф-ции математич. логики (обычно двузначные). Л. с. образуют основное функциональное ядро цифровой техники и, кроме того, широко применяются при построении различных дискретных систем автоматич. управления нецифрового действия. К числу Л. с. относятся большинство управляющих устройств и систем, в к-рых переменные величины принимают лишь дискретный ряд значений — чаще всего два значения, обозначаемые (независимо от физич. природы переменных) символами 1 и 0.

Л. с. реализуют логич. ф-ции. Ф-ция наз. логической в том случае, когда как независимые переменные, так и сама ф-ция могут принимать лишь значения из одного и того же конечного множества значений. В двузначных логич. ф-циях и аргументы и ф-ции могут иметь лишь два значения, отмечаемые обычно символами 0 и 1. В частности, именно такими переменными являются всякого рода словесные высказывания, если при их рассмотрении оценивается лишь их истинность или ложность; в этом случае символом 0 обозначается ложное высказывание, а символом 1 — истинное.

Одна из основных особенностей логич. ф-ций состоит в том, что множество различных ф-ций заданного количества независимых переменных конечно. От n двузначных независимых переменных можно составить 2^{2^n} различных двузначных логич. ф-ций. Логич. ф-ции одной и двух независимых переменных наз. элементарными, и каждая из них имеет спец. название. Все эти ф-ции приведены в табл.

Каждому столбцу таблицы соответствуют определенные значения независимых переменных X_1 и X_2 , вписанные в две верхние строки. Число столбцов таблицы определяется числом возможных различных комбинаций аргументов (в данном случае их четыре). Каждая строка таблицы (исключая две верхние) соответствует к.-н. ф-ции Y независимых переменных X_1 и X_2 . В данном случае число таких ф-ций $2^{2^2} = 16$. В этих строках указаны значения каждой данной ф-ции для каждой комбинации значений X_1 и X_2 , название ф-ции (крайний правый столбец) и ее символич. обозначение (крайний левый столбец). Особенности каждой ф-ции отражаются распределением символов 0 и 1. Так, напр., для ф-ции «или» (дизъюнкция независимых переменных) характерно то, что она принимает значение 0 тогда и только тогда, когда оба аргумента одновременно имеют значения 0; ф-ция «и» (конъюнкция независимых переменных) принимает значение 1 тогда и только тогда, когда оба аргумента одновременно имеют значения 1.

Таблица логических функций одной и двух независимых переменных.

X_1	0	1	0	1	
X_2	0	0	1	1	
0	0	0	0	0	константа (ноль)
$X_1 \downarrow X_2$	1	0	0	0	стрелка Пирса (ни-ни)
$X_1 \leftarrow X_2$	0	1	0	0	запрет
$\bar{X}_2$	1	1	0	0	отрицание (не)
$X_2 \leftarrow X_1$	0	0	1	0	запрет
$\bar{X}_1$	1	0	1	0	отрицание (не)
$X_1 \nabla X_2$	0	1	1	0	исключенное или (неравнозначность)
X_1 / X_2	1	1	1	0	штрих Шеффера (не и)
$X_1 \& X_2$	0	0	0	1	конъюнкция или логическое умножение (и)
$X_1 \sim X_2$	1	0	0	1	равнозначность
X_1	0	1	0	1	повторение
$X_2 \rightarrow X_1$	1	1	0	1	импликация (если — то)
X_2	0	0	1	1	повторение
$X_1 \rightarrow X_2$	1	0	1	1	импликация (если — то)
$X_1 \vee X_2$	0	1	1	1	дизъюнкция или логическое сложение (или)
1	1	1	1	1	константа (единица)

Приведенные в табл. названия сложились исторически, в частности при формализации классич. (аристотелевой) логики, и не всегда точно отражают различные оттенки, к-рые придаются им в живой речи (напр., «или», «если — то» и пр.). Правила оперирования двузначными логич. ф-циями изучаются в разделе математич. логики, к-рый наз. исчислением высказываний.

Л. с., моделирующие нек-рые элементарные ф-ции исчисления высказываний, часто наз. также логическими элементами. Логич. элемент имеет один или неск. входов (сигналы X_i) и один выход (сигнал Y). Два уровня сигналов (электрических, механич., пневматич. и др.) на входах и выходе принимаются за 0 и 1. Элемент реализует данную логич. ф-цию, если появление нулей и единиц на входах и выходе соответствует этой ф-ции (см. табл.).

С представлением о логич. элементах связан т. н. агрегатный способ построения Л. с. Из исчисления высказываний известно, что любая логич. ф-ция может быть представлена через нек-рые элементарные. Это дает возможность собирать самые различные Л. с. (путем соединения выходов одних элементов с входами других) с помощью небольшого числа типовых логич. элементов. Для успешного применения этого агрегатного способа построения Л. с. из логич. элементов последние должны образовывать систему, удовлетворяющую след. основному условию: набор элементов системы должен иметь такой состав, к-рый допускал бы построение любой Л. с., т. е. реализацию любой ф-ции исчисления высказываний. В исчислении высказываний доказывается существование множества различных полных в указанном смысле наборов элементарных ф-ций. Напр., существуют полные

наборы, содержащие лишь одну ф-цию: «штрих Шеффера» или «стрелку Пирса»; конъюнкция и отрицание или дизъюнкция и отрицание также образуют полные наборы. Обычно при практич. осуществлении Л. с.

ТАБЛИЦА УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

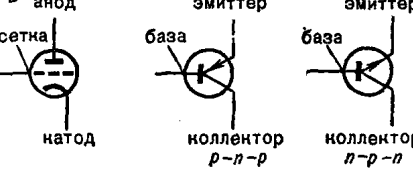
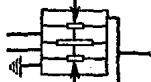
а  обмотка нормально-замкнутый контакт нормально-разомкнутый контакт	электро-механическое реле
б 	диод
в  сетка анод катод ламповый эмиттер база коллектор p-n-p полупроводниковый эмиттер база коллектор n-p-n полупроводниковый	триод
г 	магнитный сердечник с обмотками
д 	пневмореле

Рис. 1.

набор логич. элементов берется более чем полным, т. е. он содержит к.-н. полный набор и еще элементы нек-рых типов, что, естественно, создает дополнит. удобства. Очень часто набор логич. элементов системы состоит из элементов «не», «и», «или».

должна обеспечивать гибкость и оперативность монтажа Л. с.

Логические схемы на электро-механических реле. Существует два способа построения Л. с. на электро-механич. реле: на многообмоточных и однообмоточных реле. Для построения Л. с. обычно применяют однообмоточные реле с двумя устойчивыми состояниями; в одном из этих состояний ток в обмотке меньше тока отпускания или отсутствует вовсе, при этом нормально-замкнутые контакты замкнуты, а нормально-разомкнутые — разомкнуты; во втором состоянии ток в обмотке превосходит ток срабатывания, состояние контактов — обратное. Логич. переменные в релейно-контактных схемах моделируются током в обмотках реле, состояниями контактов и контактных сетей. Считают, что символу 0 соответствует ток, меньший тока отпускания, разомкнутый контакт и разомкнутая контактная сеть; символу 1 — ток, больший тока срабатывания, замкнутый контакт и замкнутая контактная сеть. Тогда зависимость состояний контактов реле от состояний его обмотки определяется логич. ф-циями «отрицание» и «повторение». Поэтому на схемах принято контакты реле отмечать той же буквой, к-рой обозначена обмотка этого реле, причем для нормально-замкнутого контакта при ней ставится знак операции «отрицание» (черточка сверху) (рис. 1, а и 2). Состояние контактов реле определяется состоянием его обмотки с нек-рым запаздыванием; чтобы отметить это, обмотка реле обозначается заглавной буквой, а у контактов ставится та же строчная буква.

Моделирование логич. ф-ции релейно-контактной схемой осуществляется след. образом. За независимые переменные принимаются состояния обмоток входных реле; из контактов входных реле строится контактная сеть (контактный двухполюсник); последовательно или параллельно с контактным двухполюсником включается обмотка выходного реле или выходное сопротивление (нагрузка); состояние обмотки выходного реле является ф-цией состояний обмоток входных реле.

Моделирование той или иной конкретной логич. ф-ции сводится к построению соответствующей этой ф-ции контактной сети. На рис. 2 приведены схемы,

реализующие операции «повторение» (а, д), «отрицание» (б, е), «конъюнкция» (в, ж) и «дизъюнкция» (г, з). В схемах верхней строки (а, б, в, г) обмотка выходного реле включена последовательно с контактным двухполюсником, а в схемах нижней строки (д, е, ж, з) — параллельно. Релейно-контактными схемами может быть смоделирована любая логич. ф-ция.

Логические схемы на диодах. Диодом наз. устройство, обладающее таким нелинейным сопротивлением, что ток через него (электрич. ток, поток воздуха или жидкости) в одном направлении

проходит почти без сопротивления, а в противоположном направлении встречает практически бесконечно большое сопротивление. Такое устройство, в сущности, является обратным клапаном или вентилем, пропускающим поток в одном направлении и

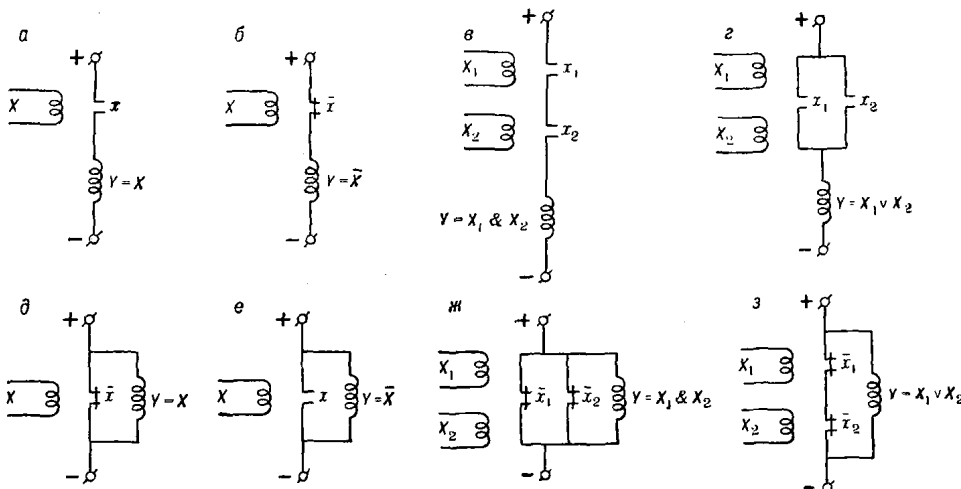


Рис. 2.

Логич. элементы должны иметь направленное действие: выход элемента не должен оказывать обратного воздействия на его вход; входные и выходные сигналы элементов системы должны быть согласованы как по уровню, так и по мощности; конструкция элементов

запирающим его — в другом. В электрич. схемах применяют ламповые (вакуумные и газонаполненные) и полупроводниковые диоды. Условное обозначение диода на схемах приведено на рис. 1, б; расположение треугольника указывает возможное направление тока.

С помощью диодов легко реализуются логич. операции конъюнкции (схема «и», рис. 3, а) и дизъюнкции

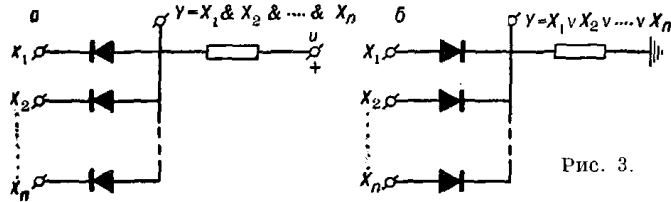


Рис. 3.

(схема «или», рис. 3, б). В схеме «и» выходной сигнал имеет значение 1 (напряжение на выходной клемме примерно равно напряжению u в линии питания) тогда и только тогда, когда ни один из диодов не проводит, т. е. при условии равенства 1 одновременно всех входных сигналов (напряжение на всех входных клеммах должно быть примерно равным u). В схеме «или» выходной сигнал имеет значение 0 (нет разности потенциалов между выходной клеммой и землей) тогда и только тогда, когда все входные сигналы имеют значение 0 (отсутствуют разности потенциалов между входными клеммами и землей).

ния лампового и полупроводниковых $p-n-p$ и $n-p-n$ триодов даны на рис. 1, в.

На рис. 4 изображены нек-рые схемы включения триодов, обеспечивающие реализацию ряда элементарных логич. ф-ций. В верхнем ряду (а, б, в, г) помещены схемы на ламповых триодах, в среднем ряду (д, е, ж, з) — на полупроводниковых плоскостных триодах типа $p-n-p$ и в нижнем ряду (и, к, л, м) — на полупроводниковых плоскостных триодах типа $n-p-n$. Здесь, как и в диодных схемах, значениям сигналов 1 и 0 соответствуют два уровня напряжения, причем символу 1 соответствует более положительное напряжение. (Часто нулевому уровню сигнала придается символ 0, а сигналу $\neq 0$, независимо от его знака, символ 1. Тогда идентичные схемы на транзисторах типа $p-n-p$ и $n-p-n$ всегда будут реализовывать одинаковые логич. ф-ции. См. ниже). В первом столбце (а, д, и) помещены схемы, реализующие операцию «отрицание», — соответствующие устройства называются инверторами или элементами «не». В каждой из этих схем поступление на вход сигнала, соответствующего символу 1, вызывает на выходе появление сигнала, соответствующего символу 0, и наоборот. Во втором столбце (б, е, к) даны схемы повторителей (катодного и эмиттерных) [которые применяются главным образом как усилители мощности (для размножения выходного сигнала)]. В этих схемах нагрузка помещается в катодной или эмиттерной цепях, что приводит к совпадению значений сигналов на входе и на выходе. Схемы третьего столбца (в, ж, л) отличаются тем, что вместо одного лампового или полупроводникового триода в них включаются параллельно два триода с независимыми входами. Это приводит при принятых значениях символов 0 и 1 к реализации дизъюнкции (схемы на ламповых триодах и транзисторах типа $n-p-n$) или конъюнкции (схема на транзисторах типа $p-n-p$). Действительно, в схемах в и ж на выходе появляется сигнал, соответствующий символу 0, тогда и только тогда, когда на оба входа подаются нулевые сигналы; в схеме л символ 1 на выходе будет только тогда, когда на оба входа поданы единицы. Схемы четвертого столбца (г, з, м) получаются из схем инверторов (первый столбец) таким же образом, как были получены схемы третьего столбца из схем повторителей. Схемы г и з (на ламповом триоде и на транзисторе типа $n-p-n$) реализуют операцию «стрелка Пирса», в них единица на выходе будет только при нулевых сигналах на обоих входах; схема м реализует операцию «штрих Шеффера» — ноль на выходе будет только при единицах на обоих входах. Если в схемах л и м на транзисторах типа $p-n-p$ символ 0 был бы приписан нулевому, а символ 1 —

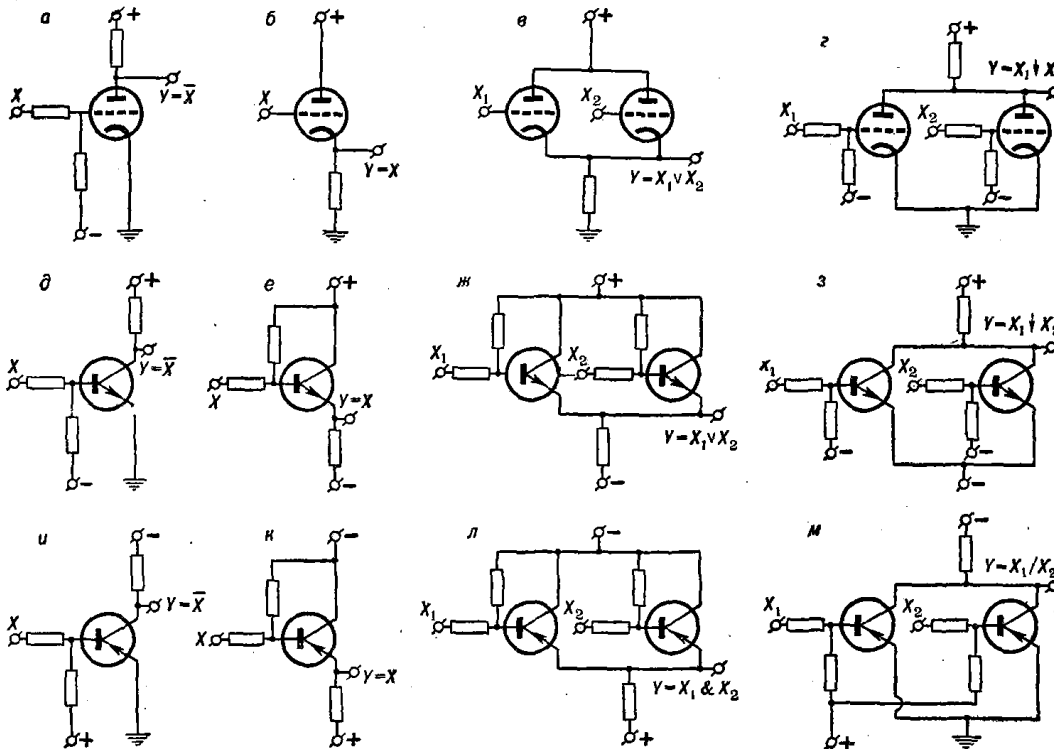


Рис. 4.

Диодные схемы позволяют реализовать и множество др. логич. ф-ций. Однако невозможно построить любую Л. с. только на диодах. Это следует уже из того, что на диодах нельзя осуществить операцию «отрицание». При практич. реализации Л. с. нельзя строить чисто диодные схемы еще и из-за того, что диод является пассивным элементом (не дает усиления по мощности).

Логические схемы на триодах. При построении Л. с. применяются как ламповые, так и полупроводниковые триоды (транзисторы). Условные обозначения

Схемы четвертого столбца (г, з, м) получаются из схем инверторов (первый столбец) таким же образом, как были получены схемы третьего столбца из схем повторителей. Схемы г и з (на ламповом триоде и на транзисторе типа $n-p-n$) реализуют операцию «стрелка Пирса», в них единица на выходе будет только при нулевых сигналах на обоих входах; схема м реализует операцию «штрих Шеффера» — ноль на выходе будет только при единицах на обоих входах.

Если в схемах л и м на транзисторах типа $p-n-p$ символ 0 был бы приписан нулевому, а символ 1 —

отрицательному уровню сигнала, то эти схемы реализовали бы (соответственно) те же ф-ции, что и схемы ж и з.

На триодах могут быть построены любые Л. с. Однако более экономными в отношении аппаратуры обычно являются схемы на триодах в сочетании с диодами.

Магнитно-полупроводниковые логические схемы и элементы. Эти схемы содержат, кроме полупроводниковых элементов, магнитные элементы — магнитные сердечники (кольца) с прямоугольной петлей гистерезиса (условные обозначения к-рых даны на рис. 1, е). Различают магнитно-вентильные (дроссельные и трансформаторные) и магнитно-транзисторные (феррит-транзисторные) схемы.

Магнитно-вентильные схемы (с применением диодов) построены так, что перемагничивание сердечников под действием импульсов источника питания возможно только в одном направлении. Размагничивание сердечников происходит под воздействием входного сигнала. Если размагничивания не происходит, то импульс напряжения (или тока) источника питания поддерживает сердечник в насыщенном состоянии. Действие дроссельных магнитно-вентильных схем основано на том, что при перемагничивании сердечника под действием импульса источника питания индуктивность выходной обмотки сердечника оказывается очень большой, тогда как при насыщенном состоянии сердечника она очень мала; т. о., выходная обмотка сердечника играет роль ключа, к-рый разомкнут при перемагничивании и замкнут при насыщении сердечника. В дроссельных магнитно-вентильных схемах нагрузка электрически связана с источником питания и может быть включена либо последовательно с выходной обмоткой сердечника (рис. 5, а), либо параллельно ей (рис. 5, б). На рис. 5, а

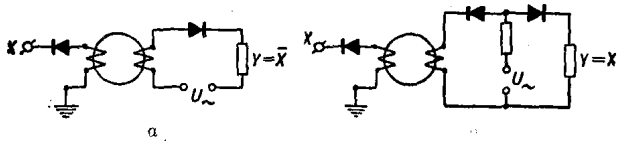


Рис. 5

дана схема элемента «не». В этой схеме сердечник размагничивается под действием сигнала входа. Поэтому здесь при $X = 1$ $Y = 0$, а при $X = 0$ $Y = 1$. На рис. 5, б дана схема повторителя.

Среди систем дроссельных магнитно-вентильных логич. элементов наиболее распространена система, в к-рой логич. ф-ции «и» и «или» строятся из комбинации диодов и повторителя, схема к-рого дана на

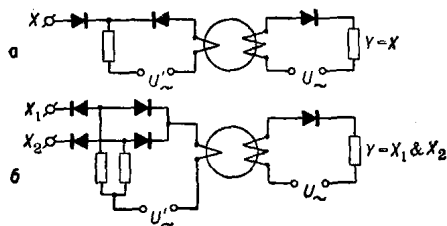


Рис. 6.

рис. 6, а; в этой схеме напряжение питания подведено как к выходной, так и к входной цепи. При отсутствии входного сигнала сердечник повторителя перемагничивается в то одну сторону под действием U' , то в другую — под действием U . При этом сопротивление выходной цепи очень велико, а напряжение на нагрузке близко к нулю («ключ» разомкнут, $Y = 0$). Появление сигнала на входе блокирует действие

напряжения U' , и сердечник не размагничивается; сопротивление его выходной цепи становится малым («ключ» замкнут), напряжение U почти целиком прикладывается к нагрузке, и $Y = 1$.

Логич. ф-ция «и» выполняется с помощью комбинации вентилей, позволяющих блокировать действие размагничивающего напряжения ячейки повторителя только в том случае, когда присутствуют все входные сигналы. На рис. 6, б представлена схема элемента «и» на 2 входа. В этой схеме выход равен 1 только при $X_1 = 1$ и $X_2 = 1$.

Логич. ф-ция «или» на n входов выполняется с помощью диодной схемы «или» (рис. 3, б), причем на ее выходе ячейка повторителя включается только тогда, когда нужно выходной сигнал сдвинуть по фазе на 180° или усилить.

В трансформаторных магнитно-вентильных Л. с. нагрузка связана с источником питания трансформаторным способом.

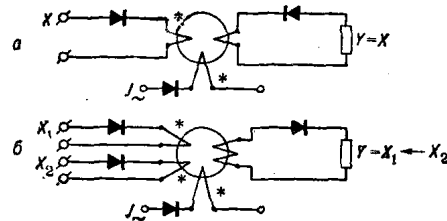


Рис. 7.

Если в такой схеме под действием входного сигнала, равного единице, сердечник был размагнитен, то импульс тока источника питания перемагнитит его; при этом в выходной обмотке сердечника наведется эдс (выход будет равен 1). Если сигнал управления отсутствует, то сердечник остается в прежнем состоянии и импульс питания только поддерживает его в этом состоянии; при этом эдс выходной обмотки близка к нулю (выход равен нулю). Так действует повторитель на рис. 7, а. Логич. ф-ция «или» выполняется в этой системе путем присоединения диодной схемы «или», а логич. ф-цией «и» вследствие сложности осуществления пользуются редко. Логич. ф-ция «не» применяется в комбинации с повторителем в т. н. элементе «запрета», схема к-рого (рис. 7, б) отличается от схемы повторителя (рис. 7, а) только наличием обмотки запрета, намотанной навстречу основной входной обмотке (что показано звездочками на рис.). Сигнал на этой обмотке блокирует действие основной обмотки, поэтому, если $X_2 = 1$ и $X_1 = 1$, то $Y = 0$; $Y = 1$ только, если $X_1 = 1$, а $X_2 = 0$.

Феррит-транзисторные схемы работают на частотах от единиц до сотен кГц и поэтому имеют более высокое быстродействие, чем магнитно-вентильные схемы, работающие на промышленных частотах. На рис. 8 представлена схема феррит-транзисторного повторителя, лежащая в основе всех остальных логич. элементов такого типа. В этой схеме, так же как и в трансформаторных магнитно-вентильных схемах, нагрузка связана с источником питания трансформаторным способом. Коэфф. усиления в схеме повышается за счет положит. обратной связи, введенной с помощью транзистора.

Логические схемы на пневмореле. Самая распространенная схема пневмореле представлена на рис. 9 (условное обозначение см. рис. 1, д). В пневмореле имеются четыре камеры K_1 , K_2 , K_3 и K_4 , между к-рыми

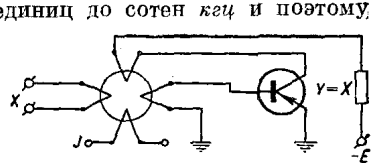


Рис. 8.

расположены три мембраны M_1 , M_2 и M_3 , объединенные общим штоком Ш в мембранный блок. К K_1 и K_2 по каналам L_1 и L_2 подводятся управляющие давления P_a и P_b ; K_3 осевым каналом C_3 сообщается с питающей магистралью, а K_4 каналом L_4 — с атмосферой. Осевой канал C_4 , ведущий в K_4 , и канал L_3 камеры K_3 объединяются внешней линией (линией обратной связи ОС), в к-рой устанавливается выходное давление P . Если мембранный блок находится в крайнем верхнем положении, то верхний торец штока перекрывает канал C_3 , а канал C_4 остается открытым; при этом на выходе элемента в линии ОС

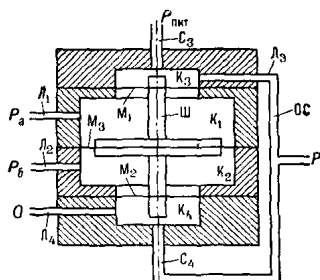


Рис. 9.

нет избыточного давления. Если же мембранный блок занимает крайнее нижнее положение, то он перекрывает канал C_4 , оставляя открытым канал C_3 , что приводит к установлению на выходе давления, равного давлению в линии питания. Положение мембранного блока зависит от направления усилия, действующего на его шток, а величина и направление этого усилия определяются значениями давлений в камерах K_1 , K_2 и K_3 , т. е. давлениями P_a , P_b и P . Обратное воздействие выходного давления P на положение мембранного блока обуславливает положит.

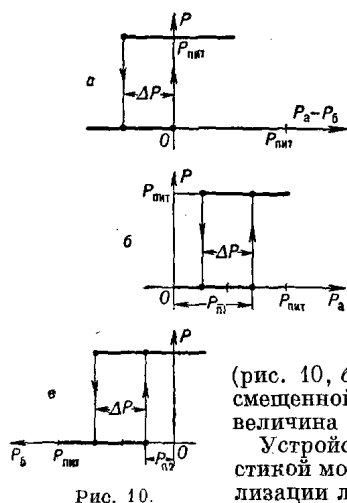


Рис. 10.

обратную связь. Характеристика такого пневмореле изображена на рис. 10, а; петля гистерезиса, шириной ΔP , появляется из-за наличия в схеме реле положит. обратной связи. Если к камере K_2 подводится некое постоянное давление $P_b = P_{п1}$ (т. н. подпор или смещение), то характеристика реле в координатах P , P_a (рис. 10, б) оказывается тем более смещенной вправо, чем больше величина подпора.

Устройство с такой характеристикой можно применять для реализации логич. операции «повторение». Для этого нужно привести

в соответствие давлению, большему чем $P_{п1}$, символ 1, а давлению, меньшему чем $P_{п1} - \Delta P$, — символ 0; $P_{пит}$ должно превышать $P_{п1}$. Схема, реализующая операцию «повторение», дана на рис. 11, а; двойной штриховкой отмечена камера, в к-рой поддерживается давление $P_{п1}$ (первый подпор).

Пневмореле может применяться также и для реализации операции «отрицание». В этом случае подводится некоторое постоянное давление $P_{п2}$ к камере K_1 . Характеристика, соответствующая этой схеме включения пневмореле, приведена на рис. 10, в. Условное изображение схемы дано на рис. 11, б; камера, в которой поддерживается неизменное давление $P_a = P_{п2}$, отмечена одинарной штриховкой. В этой схеме действительно реализуется отрицание, т. к. при $P_b > P_{п2} + \Delta P$, когда (будем так считать) независимая логич. пере-

менная $X = 1$, выходной сигнал принимает значение 0, а при $P_b < P_{п2}$, когда $X = 0$, давление на выходе $P = P_{пит}$, и, следовательно, выходной сигнал равен 1.

Величины подпоров $P_{п1}$ (схема б) и $P_{п2}$ (схема а) подбираются т. о., чтобы обеспечить примерно симметричное расположение гистерезисной петли ΔP относительно точки $0,5P_{пит}$, а т. к. $P_{п1}$ определяет положение правой, а $P_{п2}$ — левой вертикальной линией гистерезисной петли, то $P_{п1} \approx P_{п2} + \Delta P$ [причем $\Delta P \approx (0,3 - 0,4) P_{пит}$].

С помощью пневмореле можно реализовать также логич. ф-ции двух и более независимых переменных.

На рис. 11, в приведена схема включения пневмореле, отличающаяся от схемы, реализующей «повторение» тем, что в ней канал, ранее сообщавшийся с линией питания, включен в линию второй независимой переменной X_2 . Элемент, включенный по такой схеме, реализует конъюнкцию двух независимых переменных, т. к. здесь в выходной линии будет избыточное давление тогда и только тогда, когда оба входных сигнала имеют значения 1. Цепочка из $(n - 1)$ элементов реализует конъюнкцию n независимых переменных.

На рис. 11, г дана схема включения пневмореле, обеспечивающая реализацию дизъюнкции двух независимых переменных. Схема, содержащая цепочку из $(n - 1)$ пневмореле, реализует дизъюнкцию n независимых переменных. Пневмореле может быть применено также как элемент импликации (рис. 11, д), элемент запрета (рис. 11, е) и элемент, реализующий логич. ф-цию трех независимых переменных (рис. 11, ж). Т. о., с помощью пневмореле можно строить схемы, реализующие любые логич. ф-ции.

Рассмотренные способы моделирования логич. ф-ций (Л. с. на электромеханич. реле, на диодах, триодах и пр.) не исчерпывают всех возможных способов, но они являются главными.

Область применения Л. с. и элементов включает два класса устройств автоматики и вычислит. техники: логич. преобразователи и конечные автоматы.

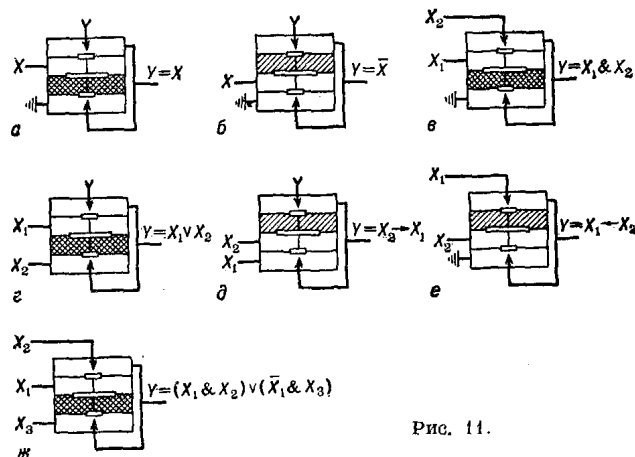


Рис. 11.

Логич. преобразователь — устройство, двузначный выход к-рого в любой момент времени однозначно определяется значениями двузначных входов в тот же момент времени. Всякая Л. с., если не принимать во внимание времени срабатывания ее элементов и если в ней нет петель, связывающих выходы к. н. элементов схемы со входами предшествующих элементов, является логич. преобразователем. В теории релейно-контактных схем (см. Релейные схемы) логич. преобразователи наз. однотактными схемами.

Возможность построения конечных автоматов на базе Л. с. и элементов связана с наличием времени запаздывания в срабатывании реальных устройств. При учете этого запаздывания цепочка логич. элементов перестает быть логич. преобразователем, а становится конечным автоматом без петель, работающим в тактности, обусловленной запаздыванием элементов. Если же выходы к.н. элементов, имеющих запаздывание, связаны со входами элементов этой схемы, то такая система образует автомат с петлями, также работающий в тактности, обусловленной запаздыванием элементов. Но автомат с петлями, работая в режиме автономного автомата (см. *Конечные автоматы*), может при одном и том же входе иметь неск. устойчивых состояний. Это его свойство используется для построения автоматов, работающих в тактности, определяемых моментами смены состояний входа. Таким способом, в частности, может быть построен т. н. элемент задержки на такт.

На рис. 12, а показана схема релейно-контактного элемента задержки, построенного указанным способом. Здесь X — вход на элемент задержки, X_i —

независимый вход, определяющий разбиение оси времени на такты, Y — выход элемента задержки, Y^* — выход промежуточного реле. Графики, иллюстрирующие работу элемента задержки, даны на рис. 12, б. С помощью элемента задержки и полной системы логич. элементов может быть построен агрегатным методом любой конечный автомат, работающий в тактности, не обязательно связанной с моментами изменения состояний входа. Этот путь построения конечных автоматов не является единственным, т. к. существуют и иные методы построения элементов задержки. В теории релейно-контактных схем конечные автоматы, работающие в тактности, обусловленной запаздыванием реле, наз. многотактными схемами.

Лит.: 1) Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950; 2) Китов А. И., Крицкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, М., 1959; 3) Ричардс Р. К., Элементы и схемы цифровых вычислительных машин, пер. с англ. М., 1961; 4) Васильева Н. П. и Гашковец И. С., Логические элементы в промышленной автоматике, М., 1962; 5) Берендс Т. К. и Таль А. А., Пневматические релейные схемы, «А и Т», 1959, т. 20, № 11; 6) их же, Пневматические безроссельные релейные схемы, в сб.: Вопросы пневмо- и гидро-автоматики, М., 1960. Н. П. Васильева, А. А. Таль.

ЛОГОМЕТР — механизм приборов для измерения отношения двух электрич. величин, обычно токов (лого: — отношение, пропорция). Подвижная часть Л. состоит из двух элементов, на каждый из к-рых действует одна из величин, входящих в измеряемое отношение. Возникающие при этом вращающие моменты действуют в противоположных направлениях. При отсутствии действующих величин подвижная часть Л. занимает случайное положение (спиральные пружины отсутствуют). Для того чтобы подвижная часть Л. под действием вращающих моментов могла

занять положение равновесия, моменты (по крайней мере один из них) должны зависеть от угла отклонения α подвижной части Л., причем по мере поворота подвижной части один из моментов должен возрастать, а другой — уменьшаться (или оставаться постоянным), пока они не станут равными друг другу.

Если на подвижную часть Л. действуют величины y_1 и y_2 , то вращающие моменты будут: $M_1 = y_1^n f_1(\alpha)$ и $M_2 = y_2^n f_2(\alpha)$, где $n = 1$ или 2. Условие равновесия ($M_1 = M_2$) дает: $(y_1/y_2)^n = f_2(\alpha)/f_1(\alpha) = f_3(\alpha)$, откуда

$$\alpha = f(y_1/y_2). \quad (1)$$

Из (1) следует, что для получения указанной зависимости необходима неидентичность ф-ций f_1 и f_2 (напр., с увеличением угла M_1 должен возрастать, а M_2 — убывать), а также независимость показаний Л. (в известных пределах) от внешних воздействий, если последние одинаково влияют на M_1 и M_2 (напр., влияние изменения напряжения или частоты источника питания Л., изменения темп-ры окружающей среды и др.). Если y_1 и y_2 , в свою очередь, функционально связаны с к.-л. третьей электрич. или неэлектрич. величиной, то она может быть измерена Л.

Распространены гл. обр. Л. магнитоэлектрической, электродинамической и ферродинамич. систем. Они применяются в различных электрических измерит. приборах (омметрах, мегомметрах, фазометрах, частотомерах, фарадметрах) и в устройствах для измерения неэлектрич. величин (пирометрах, манометрах, расходомерах и др.). На рис. 1 изображены два типа магнитоэлектрич. Л. Для получения зависимости вращающего момента подвижной части Л. от магнитного поля в зазоре делают неравномерным, обычно за счет неравномерности зазора. В случае рис. 1, а подвижную часть образуют две одинаковые, скрепленные под углом, рамки; центры расточки полюсных наконечников смещены по линии 1—1 относительно центра сердечника. В случае рис. 1, б неоднородность поля достигается за счет эксцентриситета между центрами расточки полюсных наконечников и сердечника. Токи I_1 и I_2 (подводимые обычно через безомментные токоподводы) создают вращающие моменты, направленные навстречу друг другу (см. *Магнитоэлектрическая измерительная система*): $M_1 = B_1 s_1 w_1 I_1 = c_1 I_1 f_1(\alpha)$; $M_2 = B_2 s_2 w_2 I_2 = c_2 I_2 f_2(\alpha)$. Здесь B_1 и B_2 — индукции в зазоре, s_1 и s_2 — сечения рамок, f_1 и f_2 — зависимости индукции в зазоре от угла поворота рамки α . Отсюда $\alpha = cF(I_1/I_2)$. Существуют также Л. с подвижным постоянным магнитом; положение последнего определяется соотношением токов в двух неподвижных катушках, скрепленных под определенным углом друг к другу.

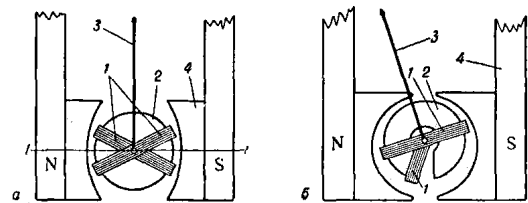


Рис. 1. Магнитоэлектрические логометры: 1 — подвижные катушки; 2 — сердечник; 3 — показывающая стрелка прибора; 4 — постоянный магнит.

В электродинамич. Л. (см. *Электродинамическая измерительная система*) внутри неподвижной катушки, обтекаемой вспомогат. током I , создается равномерное магнитное поле (рис. 2). По скрепленным катушкам подвижной части протекают токи I_1 и I_2 , образующие измеряемое отношение. Вращающие мо-

менты катушек: $M_1 = c_1 I \cdot I_1 \cos \varphi_1 \cdot \cos (\gamma_1 - \alpha)$; $M_2 = c_2 I \cdot I_2 \cos \varphi_2 \cos (\gamma_2 + \alpha)$, где γ_1 и γ_2 — углы между плоскостями катушек и стрелкой (часто $\gamma_1 + \gamma_2 = 90^\circ$). Отсюда $I_1 \cos \varphi_1 / I_2 \cos \varphi_2 = c_2 \cos (\gamma_2 + \alpha) / c_1 \cos (\gamma_1 - \alpha) = cf(\alpha)$. Т. о., в этом случае α

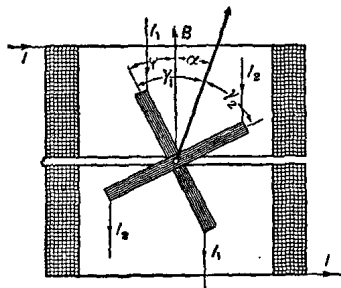


Рис. 2. Электродинамический логометр.

определяется отношением проекций векторов тока в подвижных катушках на вектор тока в неподвижной катушке. В зависимости от назначения Л., делают или $\varphi_1 = \varphi_2$ — тогда положение подвижной части определяется отношением токов, или $I_1 = I_2$. В последнем случае по величине α определяют углы сдвига фаз. Существуют также Л., имеющие две неподвижные катушки, скрепленные под углом, и одну подвижную или, как в астатич. устройствах, две неподвижные и две подвижные катушки на одной оси.

На рис. 3 показаны 2 типичные конструкции ферродинамич. Л. (см. Ферродинамическая измерительная

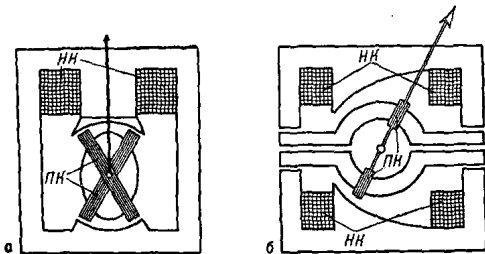


Рис. 3. Ферродинамические логометры.

система). В случае рис. 3, б подвижные катушки ПН перемещаются в зазорах двух отдельных, но смонтированных вместе механизмов. Зазоры в обоих случаях неравномерны; магнитные потоки в них создают вспомогат. ток I в неподвижных катушках. Т. о., индукции в зазорах пропорциональны I и зависят от α . Вращающие моменты обеих катушек:

$M_1 = c_1 I \cdot I_1 \cos \varphi_1 / I_2 \cos \varphi_2 (\alpha)$, $M_2 = c_2 I \cdot I_2 \cos \varphi_2 / I_1 \cos \varphi_1 (\alpha) = cf(\alpha)$. Отсюда $I_1 \cos \varphi_1 / I_2 \cos \varphi_2 = c_2 f(\alpha) / c_1 f_1 (\alpha) = cf(\alpha)$. Существуют конструкции ферродинамич. Л. с катушками, расположенными параллельно, и с равномерным воздушным зазором, а также Л. с одной подвижной катушкой, создающей одновременно вращающий и противодействующий моменты.

Лит.: 1) Курс электрических измерений, под ред. В. Т. Приткова и А. В. Талицкого, ч. 1—2, М. — Л., 1960; 2) А р у т ю н о в В. О., Электрические измерительные приборы и измерения, М. — Л., 1958; 3) его же, Электромеханические логометры, М. — Л., 1956. В. Т. Притков.

ЛОЖНОЕ СОЛНЦЕ — ряд атмосферно-оптич. явлений, относящихся к группе *гало* и заключающихся в появлении на небесном своде небольшого округлого светового пятна, иногда имеющего значит. яркость и потому напоминающего солнечный диск. Наиболее часто под именем Л. с. понимают паргелии — яркие радужные пятна, расположенные на высоте Солнца, справа и слева от него, на расстоянии 22° , реже 46° . Иногда Л. с. называют вытянутое радужное пятно над Солнцем, на расстоянии 46° от него. Все перечисленные формы Л. с. образуются вследствие преломления солнечных лучей в призматич. ледяных кристаллах, определенным образом ориентированных относительно горизонта, чем и объясняется радужная окраска

Л. с. Другие формы Л. с., представляющие собой белые пятна, образуются в результате отражений солнечных лучей от горизонтально или вертикально ориентированных граней ледяных призм. Более сложные случаи отражений (иногда — двукратных) ведут к появлению противосолнца — светлого пятна в точке неба, диаметрально противоположной Солнцу, а также паргелиев, располагающихся на той же высоте, что и Солнце, на угловых расстояниях 98° , 120° , 134° и 180° от него. Световые явления, аналогичные Л. с., вызываются ночью светом Луны (ложные луны), а также искусств. огней.

Лит.: Курс метеорологии (Физика атмосферы), под ред. П. Н. Тверского, Л., 1951. В. В. Шаронов.

ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ПАР МЕТОД (метод валентных схем, метод валентных связей) — метод рассмотрения электронного строения молекул, согласно к-рому образование химич. связи происходит за счет движения пары электронов с противоположно ориентированными спинами в поле двух ядер, причем все химич. связи в молекуле могут быть представлены как нек-рые комбинации таких двухцентровых двухэлектронных связей, изображаемых валентными штрихами. В соответствии с этим электронное строение молекул описывается нек-рым набором валентных схем.

Л. п. м. представляет собой математич. аппарат т. н. теории резонанса и по существу является обобщением и развитием классич. структурной теории А. М. Бутлерова и А. Кекуле. Благодаря тому, что Л. п. м. оперирует не одной валентной схемой, а набором таких схем, в рамках этого метода можно передать делокализацию π -связей молекулы, напр. строение бензола описывается набором из 5 схем. Кроме того, если в схемах классич. теории изображались только ковалентные связи, напр. $H-$, $O=$, $N\equiv$, $C\equiv$, в схемах Л. п. м. изображается и простое двухцентровое донорно-акцепторное взаимодействие, напр. $\bar{O}-$, $\bar{O}\equiv$, $\bar{N}=$, $\bar{N}\equiv$, $\bar{C}\equiv$, $\bar{C}\equiv$.

Л. п. м. весьма нагляден и сохраняет привычную для химика валентную черту. Однако применение его оправдано только в тех случаях, когда все химич. связи являются существенно локализованными двухцентровыми связями, т. е. σ -связями. Л. п. м. вытесняется гораздо более общим молекулярных орбит методом.

Лит. см. при ст. Квантовая химия, Валентность. Е. М. Шустрович.

ЛОКАЛЬНОЕ ПОЛЕ (внутреннее, действующее, эффективное поле) — электрич. поле, действующее на частицу диэлектрика (электрон, ион, атом или молекулу). Л. п. ($E_{\text{лок}}$) отличается от внешнего электрич. поля E_0 вследствие поляризации диэлектрика. Расчет $E_{\text{лок}}$ является одной из важнейших задач теории диэлектриков. В общем случае:

$$E_{\text{лок}} = E_0 + E, \quad (1)$$

где E — поле, действующее на рассматриваемую частицу со стороны всех поляризованных частиц — диполей диэлектрика:

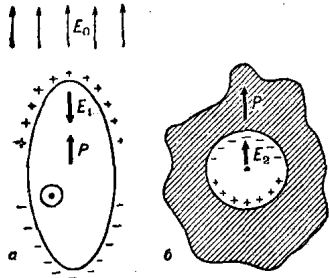
$$E = \sum_i \frac{3(\mu_i \cdot r_i) r_i - r_i^2 \mu_i}{r_i^5}. \quad (2)$$

Здесь r_i — радиус-вектор, проведенный от диполя — частицы i , к рассматриваемой частице, μ_i — дипольный момент частицы i . Ф-ла (2) учитывает только диполь-дипольное взаимодействие и не принимает во внимание взаимодействий др. рода, а также флуктуационных явлений, связанных с тепловым движением частиц вещества.

Практически определить $E_{\text{лок}}$ по (1)–(2) невозможно. Поэтому применяют искусств. прием: вычисляют отдельно макроскопич. $(E_1 + E_2)$ и микроскопич. (E_3) части E :

$$E = E_1 + E_2 + E_3.$$

Здесь E_1 — обратное поле поляризации, или «деполяризующее поле», обусловленное зарядами, появившимися в результате поляризации на внешней поверхности образца диэлектрика. Смысл введения полей E_2 и E_3 будет ясен, если мы вообразим себе малую сферу внутри диэлектрика, в центре которой помещена рассматриваемая частица (см. рис.). Тогда



Схематич. изображение: а — диэлектрика со сферич. полостью, помещенного во внешнее электрич. поле E_0 ; б — полости внутри диэлектрика с рассматриваемой частицей.

поле E_2 — это то поле, к-рое действует на рассматриваемую частицу со стороны связанных зарядов, расположенных на внутренней поверхности полости; поле E_3 — суммарное поле, обусловленное всеми дипольными частицами, находящимися внутри сферы. Поле E_1 вычисляется как интеграл по эффективным зарядам, расположенным на внешней части образца; E_3 — как интеграл по поверхности сферич. области; E_3 определяется по ф-ле (2), где суммирование проводится по дипольным частицам, расположенным внутри сферы. Если образец имеет форму эллипсоида, одна из главных осей к-рого параллельна внешнему полю, то деполяризующее поле E_1 и вектор поляризации P будут параллельны внешнему полю и $E_1 = -NP$, где N — деполяризующий фактор, равный для сферы $4/3\pi$, для перпендикулярной к E_0 тонкой пластинки — 4π и для длинного кругового цилиндра с осью параллельной E_0 — 0 (предельные случаи эллипсоида).

Поле E_2 было впервые вычислено Лоренцом (т. н. «поле Лоренца»):

$$E_2 = \frac{4\pi}{3} P. \quad (3)$$

Для единичной решетки кристалла, состоящей из m неодинаковых и различно расположенных частиц, поле E_3 , действующее на частицы j -го сорта, вычисляется по ф-ле (внешнее поле направлено вдоль оси z):

$$E_{3j} = \mu_1 C_{j1} + \mu_2 C_{j2} + \dots + \mu_k C_{jk} + \dots + \mu_m C_{jm},$$

где $\mu_k = \alpha_k E_{\text{лок}k}$; α_k — поляризуемость частиц k -го сорта; $E_{\text{лок}k}$ — Л. п., действующее на частицы k -го сорта; C_{jk} — структурные коэфф., полученные из соотношения (2), учитывающие пространственное расположение частиц k -го сорта относительно рассматриваемых частиц j -го сорта.

$$C_{jk} = \sum_{i=1}^n \frac{2z_i^2 - (x_i^2 + y_i^2)}{(x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)^{5/2}};$$

n — число частиц k -го сорта внутри сферы.

Расчет показывает, что для двухатомных кубич. кристаллов и для изотропных неполярных диэлектриков $E_3 \approx 0$ вследствие симметрии; для полярных газов и паров, находящихся при низком атм. давлении, а также для слабых растворов полярных жидкостей в неполярных растворителях $E_3 \approx 0$, т. к. в этих условиях диполь-дипольное взаимодействие незначительно.

Следовательно, общее выражение для Л. п. имеет вид:

$$E_{\text{лок}} = E_0 - NP + \frac{4\pi}{3} P + E_3. \quad (4)$$

В случае, если $E_3 = 0$ и диэлектрик имеет форму тонкой пластинки, перпендикулярной E_0 ,

$$E_{\text{лок}} = E_0 - 4\pi P + \frac{4\pi}{3} P = E_{\text{ср}} + \frac{4\pi}{3} P = \frac{\varepsilon + 2}{3} E_{\text{ср}}, \quad (5)$$

где $E_{\text{ср}}$ — напряженность среднего макроскопич. поля, ε — диэлектрич. проницаемость. Для газов и паров, когда $\varepsilon \approx 1$, $E_{\text{лок}} = E_{\text{ср}}$.

Ф-ла (5) служит исходным соотношением для вывода Клаузиуса — Мосотти формулы и Ланжевена — Дебая формулы.

Л. Онсагер, представляя дипольную молекулу в виде пустой полости в диэлектрике с точечным диполем в центре, предложил следующую ф-лу для Л. п.:

$$E_{\text{лок}} = G + R, \quad (6)$$

где $G = gE_{\text{ср}}$ — «поле полости» — часть Л. п., к-рая остается, если рассматриваемую молекулу лишить ее дипольного момента, а $R = f\mu$ — «реактивное поле» — та часть Л. п., к-рая появляется, если молекуле вновь вернуть ее дипольный момент. Коэфф. g и f равны:

$$g = \frac{3\varepsilon}{2\varepsilon + 1}, \quad f = \frac{2(\varepsilon - 1)}{(2\varepsilon + 1)} \frac{1}{a^3},$$

где a — радиус дипольной молекулы.

Вывод ф-лы для Л. п. (6) основан на спец. модели дипольной молекулы, поэтому она не является строгой в отличие от выражения (4). Однако ею часто пользуются на практике.

Лит.: 1) Ск а н а в и Г. И., Физика диэлектриков. (Область слабых полей), М.—Л., 1949, гл. 11, с. 53–60, 84–93, 151–61; 2) К и т т е л ь Ч., Введение в физику твердого тела, пер. с англ., М., 1957, с. 128–35; 3) Б р а у н В., Диэлектрики, пер. с англ., М., 1961, § 22–26, 55, 61. А. Н. Губкин.

ЛОКАЦИЯ ЗВУКОВАЯ — определение направления на объект и местоположения объекта по создаваемому им звуковому полю (пассивная локация) или по отражению от него звука, создаваемого спец. устройствами (активная локация). При активной Л. з. используются как импульсным, так и непрерывными источниками звука. В импульсном режиме расстояние R до объекта определяется по времени запаздывания t отраженного эхосигнала, причем $R = 1/2 ct$, где c — скорость звука в среде. В непрерывном режиме (напр., при пилотажной частотной модуляции) расстояние определяется измерением разности частот ΔF посылаемого и отраженного сигнала: $R = 1/2 c T \cdot \Delta F / F$, где T — период модуляции, F — полное изменение частоты. Локализация шумящих объектов в пассивной Л. з. производится узконаправленными приемниками звука при работе в узкой полосе частот или с помощью корреляционного метода приема (см. Корреляционные методы в акустике) при работе с широкополосными источниками.

Л. з. широко применяется в диапазоне частот и от инфра- до ультразвуков и при распространении в воздухе, земле, воде и металлах. Инфразвуковые частоты (от долей $гц$ до десятков $гц$) применяются для локализации землетрясений, для обнаружения скопелений нефти и газа в сейсмозащитке, в системе дальнего обнаружения кораблей, терпящих бедствие в открытом океане (по взрывным источникам звука). На звуковых и ультразвуковых частотах (сотни $гц$ — десятки $кгц$) работают гидролокаторы, шумопеленгаторы и эхолоты. Ультразвуковыми частотами (сот-

ни kg и Mgc) пользуются в ультразвуковой дефектоскопии.

Звуковая локация у животных и человека. Существуют пассивные и активные звуковые локации, созданные самой природой. Способностью определения направления на источник звука обладают все живые существа в результате бинаурального эффекта. Способ, каким слуховая система определяет направление на источник звука, точно еще не установлен, хотя есть основания предполагать, что он подобен корреляционному методу приема в шумопеленгации. Насекомые могут определять направление на источник звука при помощи приемной системы, имеющей размеры, много меньшие длины звуковой волны, используя дипольный эффект.

Нек-рые животные, обитающие в местах, где лучшим средством ориентировки является звук, в процессе эволюции приобрели способность к активной Л. з. К ним относятся летучие мыши, дельфины и киты, нек-рые виды птиц, напр. птица гуахаро, живущая в горах Венесуэлы. Активная Л. з. для нек-рых из этих животных является не только средством ориентировки, но и основным способом добывания пищи. Наиболее хорошо изучено поведение летучих мышей и дельфинов. Летучие мыши излучают звуковые импульсы в несколько мсек, заполненные высокочастотными колебаниями (10—150 kg). Нек-рые виды летучих мышей (напр., подковоносы) излучают почти чистые тона, другие — широкополосные импульсы; наиболее распространенные виды излучают частотно-модулированные сигналы, начинающиеся с высокой частоты, к-рая к концу импульса спадает примерно на октаву. Кроме того, для всех видов летучих мышей частота повторения импульсов зависит от расстояния до цели и возрастает с 10—20 g вдали от цели до 250 g при приближении к цели. Дельфины издают поскрипывающие звуки длительностью в несколько мсек, причем частота повторения также зависит от расстояния до цели (1—2 g до сотен g). Животные, пользующиеся Л. з., обладают способностью обнаруживать слабые полезные сигналы на фоне мешающих отражений и множества подобных сигналов других особей.

Обнаружение препятствий по звуковому эхо в некоторой степени присуще и человеку; выяснено, что слепые чувствуют приближение к препятствию по отражениям звука шагов или ударов тросточки.

Лит.: 1) Гриффин Д., Эхо в жизни людей и животных, пер. с англ., М., 1961; 2) Griffin D. R., Listening in the dark, New Haven, 1958; 3) Kellogg W. N., Echo ranging in the porpoise, «Science», 1958, v. 128, № 3330, p. 982—98; 4) Андреев Н. Н., Об органах слуха у насекомых, «Пробл. физиол. акустики», 1955, т. 3, с. 89—94.
Б. Ф. Курьянов.

ЛОНДОНОВ Ф. и Г. УРАВНЕНИЕ — ур-ние для описания поведения сверхпроводников в слабых магнитных полях. Предложено Ф. и Г. Лондонами (F. и H. London) в 1935 г. Для получения полной системы ур-ний, описывающих магнитные свойства сверхпроводников, необходимо добавить к Максвелла уравнениям ур-ние, связывающее плотность тока в сверхпроводнике j с векторным потенциалом A . Основное предположение при выводе Л. у. состоит в том, что эта связь является локальной, т. е., что ток в нек-рой точке определяется значением вектор-потенциала в той же точке. Поскольку, кроме того, в слабых полях эта связь должна быть линейной, ур-ние должно иметь вид

$$A = -\Lambda c j, \quad (1)$$

где Λ — нек-рая постоянная, к-рую принято записывать в виде: $\Lambda = m/c^2 N_s$ (m и e — масса и заряд электрона, N_s — т. н. число сверхпроводящих электронов). Применяв к обеим частям (1) операцию rot и

учитывая, что $\text{rot } A = H$, можно получить Л. у. — $c \Lambda \text{rot } j = H$. (2)

Подставляя в (2) $j = c/4\pi \text{rot } H$, получим

$$\Delta H = H/\delta^2, \quad \delta^2 = \Lambda c^2/4\pi. \quad (3)$$

Решение ур-ния (3) для случая магнитного поля, направленного вдоль плоской поверхности сверхпроводника, имеет вид: $H = H_0 \exp(-z/\delta)$ (ось z нормальна к поверхности, H_0 — поле на поверхности). Т. о., магнитное поле быстро затухает в глубь сверхпроводника (Мейснера эффект), причем δ имеет смысл глубины проникновения поля в сверхпроводник.

После создания микроскопич. теории сверхпроводимости выяснилось, что в действительности ток определяется значением A не только в той же точке, а в нек-рой области с размерами $\xi_0 \approx \hbar v_0/kT_c$ (v_0 — скорость электронов на поверхности Ферми, T_c — темп-ра сверхпроводящего перехода). Поэтому связь j с A можно считать локальной только в том случае, если эти величины мало меняются на расстоянии ξ_0 , т. е. если $\delta \gg \xi_0$. Это условие есть, т. о., условие применимости Л. у. Следует иметь в виду, что в большинстве сверхпроводников выполняется обратное неравенство, т. е. имеет место т. н. пинпардовский предельный случай (см. Пинпарда уравнение). Вблизи точки фазового перехода в достаточно сильных полях Л. у. также неприменимы и должны быть заменены Гинзбурга — Ландау уравнениями [1].

Лит.: 1) Гинзбург В. Л., «УФН», 1950, т. 42, вып. 2, с. 169; 2) Абрикосов А. А., Халатников И. М., там же, 1958, т. 65, вып. 4, с. 551; 3) Шенберг Л., Сверхпроводимость, пер. с англ., М., 1955, с. 174. Л. П. Питаевский.

ЛОРАНА РЯД — ряд вида $\sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(z-z_0)^k$, пред-

ставляющий ϕ -цию $f(z)$ комплексного переменного z , однозначную и аналитич. в области вида $r < |z-z_0| < R$.

Если $f(z) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(z-z_0)^k$, то коэфф. этого ряда определяются ϕ -лами

$$c_k = \frac{1}{2\pi i} \oint_L f(\zeta) (\zeta-z_0)^{-k-1} d\zeta, \quad (k = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots),$$

где L — произвольный замкнутый контур, охватывающий круг $|z-z_0| \leq r$ и лежащий внутри области $r < |z-z_0| < R$ (в качестве L можно, в частности, брать окружность $|z-z_0| = \rho$, где $r < \rho < R$); контур L обходится в положит. направлении. При

этом ряд $\sum_{k=0}^{\infty} c_k(z-z_0)^k$ наз. правильной ча-

стью Л. р., ряд $\sum_{k=-1}^{-\infty} c_k(z-z_0)^k$ — главной ча-

стью; сумма 1-го аналитична в области $|z-z_0| < R$, сумма 2-го аналитична в области $|z-z_0| > r$.

В частности, если $r = 0$, т. е. $f(z)$ однозначна и аналитична в окрестности точки z_0 , за исключением самой z_0 , являющейся изолированной особой точкой ϕ -ции $f(z)$, то $f(z)$ может быть представлена посредством Л. р. в области $0 < |z-z_0| < R$, где R — расстояние от z_0 до ближайшей (к z_0) особой точки. При этом строение главной части Л. р. определяет характер особенности ϕ -ции $f(z)$ в точке z_0 . Если все коэфф. c_k главной части равны нулю, то существует конечный $\lim_{z \rightarrow z_0} f(z)$ (точка z_0 наз. устранимой особой точкой); если лишь конечное число коэфф. главной части отлично от нуля, то $\lim_{z \rightarrow z_0} f(z) = \infty$ (точка z_0 наз. полюсом); если среди