

вырожденным. В общем случае степень вырождения уровней энергии равна $\frac{1}{2}(v_k + 1)(v_k + 2)$.

В сложных многоатомных молекулах вырождение колебаний может иметь место не только вследствие симметрии молекул, но и при случайном совпадении частот колебаний, относящихся к одному и тому же типу симметрии. Такое вырождение наз. с л у ч а й н ы м. См. также *Колебания молекул.* В. Г. Дашевский.

ВЫРОЖДЕННЫЙ ГАЗ — газ, обладающий существенно квантовыми свойствами в условиях, когда ср. расстояние между его частицами порядка (или меньше) ср. длины волны де Бройля (см. также *Квантовый газ*). Вырождение наступает, когда темп-ра газа становится ниже *вырождения температуры*. В зависимости от спина частиц существуют вырожденные ферми-газы (полуполный спин в единицах $\hbar = h/2\pi$) и вырожденные бозе-газы (нулевой или целый спин). Для бозе-газа темп-ра вырождения совпадает с темп-рой *Бозе—Эйнштейна конденсации*.

Вырожденными ферми-газами являются: электроны в металлах (для них из-за малой массы электрона темп-ра вырождения очень велика, $\sim 10^4$ К); подвижные носители заряда (электроны и дырки) при большой их концентрации в полупроводниках (вырожденные полупроводники); атомные ядра с большим зарядом (их можно приближенно рассматривать как В. г. нуклонов). Вырожденным бозе-газом (точнее, *квантовой жидкостью*) является ^4He в состоянии *сверхтекучести*, газы фононов и экситонов в кристаллич. решётке, газ фотонов.

В. г. — состояние вещества, широко распространённое в космосе: электронный ферми-газ в *белых карликах*, *красных гигантах* и *сверхгигантах*; равновесный бозе-газ фотонов реликтового излучения (см. *Микроволновое фоновое излучение*); неравновесное излучение космических мазеров (см. *Мазерный эффект* в космосе); ферми-газ нейтронов (см. *Нейтронизация вещества*) и нейтрино (см. *Гравитационный коллапс*).

ВЫРОЖДЕННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК — полупроводник, в к-ром энергетич. распределение носителей заряда описывается *Ферми — Дирака статистикой*. Уровень Ферми в В. п. расположен либо внутри зоны проводимости или валентной зоны, либо находится в запрещённой зоне в непосредственной близости от краёв этих зон, на расстоянии порядка kT (T — абс. темп-ра). Собственные полупроводники становятся вырожденными при высоких темп-рах, когда kT сравнимо с шириной запрещённой зоны E_g . В собственных полупроводниках с узкой запрещённой зоной (HgSe , HgTe) вырождение носителей одного или обоих типов наступает уже при комнатной темп-ре. В примесных полупроводниках электроны проводимости (дырки) становятся вырожденными при высоких концентрациях донорной (акцепторной) примеси. При интенсивном оптич. возбуждении или сильной инжекции носителей заряда возможно вырождение неравновесных носителей.

При произвольной степени вырождения термодинамич. и кинетич. характеристики равновесной электронно-дырочной системы полупроводника выражаются через интегралы Ферми — Дирака:

$$F_n(z) = \int_0^{\infty} \frac{x^n dx}{\exp(x-z)+1}. \quad (1)$$

Здесь $z = \xi/kT$, ξ — хим. потенциал. В случае сильного вырождения (при $\exp(\xi/kT) \gg 1$) эти ф-лы заметно упрощаются и для примесных В. п. имеют тот же вид, что и для металлов.

Вырождение носителей заряда особенно заметно проявляется в тех кинетич. эффектах, к-рые обусловлены тепловым разбросом в распределении носителей по энергиям. К таким эффектам относится магниторезистивный эффект (см. *Магнетосопротивление*), электрон-

ная теплопроводность, *Нельтье эффект*, *Периста эффект*, *Эттингсауэна эффект* и др. в полупроводниках с изотропным энергетич. спектром. В полностью В. п. (при $T=0\text{K}$) эти эффекты отсутствуют, т. к. в силу *Паули принципа* в явлениях переноса в таких полупроводниках принимают участие лишь носители заряда, находящиеся на *ферми-поверхности* и обладающие одной и той же энергией. При $T=0\text{K}$ эти эффекты имеют место, но они невелики — их величина приблизительно в ξ/kT или в $(\xi/kT)^2$ (в зависимости от рассматриваемого эффекта) раз меньше, чем в невырожденном полупроводнике.

Наиб. ярко особенности В. п. проявляются в присутствии квантуемого магн. поля (см. *Де Хааза—ван Альфена эффект*, *Шубникова—де Хааза эффект* и др.). В. п. используются в *туннельных диодах* и *инжекционных лазерах*.

Лит.: Ансельм А. И., Введение в теорию полупроводников, 2 изд., М., 1978; Блекмор Дж., Статистика электронов в полупроводниках, пер. с англ., М., 1964.

ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ ФОТОЭДС — аномальная эдс, возникающая вдоль освещаемой поверхности *полупроводника* или *диэлектрика* и пропорциональная длине освещённой области. В. ф. может превышать 10^4В . Подробнее см. в ст. *Фотогальваномагнитные явления*.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ РАЗРЯДЫ — виды электрических разрядов в газах, возникающие при большой разности потенциалов между электродами. Типичный пример В. р. — грозовые разряды в земной атмосфере, приводящие к ярким вспышкам молнии. К В. р. можно также отнести корону высокочастотную и высокочастотный *факельный разряд*, *коронный разряд* на пост. токе, применяемый, в частности, в электрофильтрах и электросепараторах, *вакуумный пробой* и др.

Лит. см. при ст. *Электрические разряды в газах*.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ УСКОРЯТЕЛЬ — устройство для ускорения заряд. частиц электрич. полем, постоянным в течение всего времени ускорения частиц. Осн. элементы В. у. — источник заряд. частиц, ускоряющая система и высоковольтный генератор (рис. 1). Напряжение u , получаемое от высоковольтного генератора 1, подаётся на электроды ускоряющей системы 3 и создаёт внутри неё электрич. поле. Заряд. частицы из источника 2 ускоряются этим полем до энергии $\mathcal{E} = e u$ эВ, где e — заряд ускоряемой частицы (e — элементарный электрич. заряд; u выражено в В). Используя перезарядку ча-

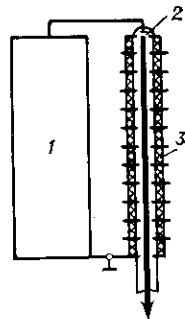


Рис. 1. Схема высоковольтного ускорителя (линия со стрелкой изображает траекторию частицы).

стиц, можно при том же u получить частицы с энергией, в n раз превышающей энергию в обычных В. у. (см. *Перезарядный ускоритель*).

Осн. преимущество В. у. по сравнению с др. типами ускорителей — возможность получения пучков заряд. частиц с высокой стабильностью энергии и малым разбросом по энергии частиц, ускоряемых в постоянном во времени и однородном электрич. поле, а также возможность создания установок с большой мощностью и высоким кпд. С помощью В. у. может быть получена отпосит. нестабильность энергии $\sim 10^{-4}$, а у отдельных В. у. $\sim 10^{-5}$ — 10^{-6} . Благодаря этому В. у. нашли широкое применение как при исследованиях в атомной и ядерной физике, так и для решения разл. прикладных задач.

Размеры В. у. определяются его ускоряющим напряжением и электрич. прочностью изоляции генератора и ускоряющей системы. Наибольшие достигнутые величины ускоряющего напряжения генератора ок. 20