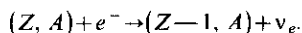


осуществить вблизи основного состояния электронной системы. При  $kT \ll \epsilon_F$ , где  $\epsilon_F$  — ферми-энергия, термодинамич. ф-лы и многие ф-лы физ. кинетики не изменяются при переходе от модели Э.г. к модели электронной фермижидкости, если под  $\epsilon(p) - \epsilon_F$  понимать энергию квазичастицы (её принято отсчитывать от энергии Ферми). Согласно теории фермижидкости, энергия квазичастицы учитывает взаимодействие между электронами; заряд квазичастицы равен заряду свободного электрона; число квазичастиц равно числу частиц Э.г. В полупроводниках из-за малости числа частиц электронного газа взаимодействие между электронами несущественно.

Лит. см. при ст. *Металлы, Полупроводники.*

М. И. Каганов, Э. М. Эшттейн.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ЗАХВАТ** — тип *бета-распада* ядер, состоящий в захвате ядром электрона с одной из внутр. оболочек *атома*. При этом один протон ядра превращается в нейтрон, т. е. атом ( $Z, A$ ) ( $Z$  — ат. номер;  $A$  — массовое число) превращается в атом ( $Z-1, A$ ). Это превращение происходит по схеме



Здесь  $e^-$  — электрон, захватываемый ядром атома ( $Z, A$ ) с  $K, L$  и др. оболочек;  $\nu_e$  — электронное *нейтрино*.

Процесс Э.з. сопровождается испусканием характеристич. рентг. излучения атома ( $Z-1, A$ ), образующегося при заполнении вакансий в его оболочке, а также очень слабого эл.-магн. излучения с непрерывным спектром, верх. граница к-рого определяется разностью масс начальной и конечного атомов (за вычетом энергии кванта характеристич. излучения). Это излучение наз. внутр. тормозным излучением. Если в результате Э.з. ядро ( $Z-1, A$ ) оказывается в возбужденном состоянии, то процесс сопровождается также испусканием  $\gamma$ -излучения. Если разность масс атомов ( $Z, A$ ) и ( $Z-1, A$ ) превосходит удвоенную массу покоя электрона, то с Э.з. начинает конкурировать бета-распад с испусканием позитрона ( $\beta^+$ ).

Нек-рые нуклиды, претерпевающие Э.з. с переходом в основное состояние дочернего ядра, используются как источники монохроматич. рентг. излучения, напр. распад:  $^{55}\text{Fe} \rightarrow ^{55}\text{Mn}$  ( $\epsilon_{\text{рентг}} = 5,9$  кэВ),  $^{109}\text{Cd} \rightarrow ^{109}\text{Ag}$  ( $\epsilon_{\text{рентг}} = 22$  кэВ). Такие источники применяются во многих исследованиях в биомедицине, материаловедении, дефектоскопии и др.

Лит. см. при ст. *Бета-распад ядер.*

А. А. Сорокин.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ** — резонансный линейный ускоритель электронов, в к-ром используется ускорение на бегущей эл.-магн. волне. При таком ускорении направление движения электронов остаётся практически неизменным, поэтому они почти не теряют энергию на излучение и их можно ускорять до очень высоких энергий (десятки и сотни ГэВ). Подробнее см. *Линейные ускорители*.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП** — прибор для наблюдения и фотографирования многократно (до  $10^6$  раз) увеличенного изображения объекта, в к-ром вместо световых лучей используются пучки электронов, ускоренных до больших энергий (30—1000 кэВ и более) в условиях глубокого вакуума. Физ. основы корпускулярно-лучевых оптич. приборов были заложены в 1827, 1834—35 (почти за сто лет до появления Э. м.) У. Р. Гамильтоном (W. R. Hamilton), установившим существование аналогии между прохождением световых лучей в оптически неоднородных средах и траекториями частиц в силовых полях. Целесообразность создания Э. м. стала очевидной после выдвинутой в 1924 гипотезы о волнах де Бройля, а техн. предпосылки были созданы Х. Бушем (H. Busch), к-рый в 1926 исследовал фокусирующие свойства осесимметричных полей и разработал магн. электронную линзу. В 1928 М. Кнолль (M. Knoll) и Е. Руска (E. Ruska) приступили к созданию первого магн. просвечивающего Э. м. (ПЭМ) и спустя три года получили изображение объекта, сформированное пучками электронов. В последующие годы [М. фон Арденне (M. von Ardenne), 1938; В. К. Зворыкин, США, 1942] были

построены первые растровые Э. м. (РЭМ), работающие на принципе сканирования, т. е. последовательного от точки к точке перемещения тонкого электронного пучка (зонда) по объекту. К сер. 1960-х гг. РЭМ достигли высокого техн. совершенства, и с этого времени началось их широкое применение в науч. исследованиях. ПЭМ обладают самой высокой *разрешающей способностью*, превосходя по этой параметру световые *микроскопы* в неск. тысяч раз. Предел разрешения, характеризующий способность прибора отобразить раздельно две максимально близко расположенные детали объекта, у ПЭМ составляет 0,15—0,3 нм, т. е. достигает уровня, позволяющего наблюдать атомарную и молекулярную структуру исследуемых объектов. Столь высокие разрешения достигаются благодаря чрезвычайно малой длине волны электронов. Линзы Э. м. обладают абберациями, эффективных методов коррекции к-рых не найдено в отличие от светового микроскопа (см. *Электронная и ионная оптика*). Поэтому в ПЭМ магн. *электронные линзы* (ЭЛ), у к-рых абберации на порядок величины меньше, полностью вытеснили электростатические. Оптимальным диафрагмированием (см. *Диафрагма* в электронной и ионной оптике) удаётся снизить сферич. абберацию объектива, влияющую на разрешающую способность Э. м. Находящиеся в эксплуатации ПЭМ можно разделить на три группы: Э. м. высокого разрешения, упрощённые ПЭМ и уникальные сверхвысоковольтные Э. м.

**ПЭМ с высокой разрешающей способностью** (0,15—0,3 нм) — универсальные приборы многоцелевого назначения. Используются для наблюдения изображения объектов в светлом и тёмном поле, изучения их структуры электроннографич. методом (см. *Электроннография*), проведения локального количеств. спектрального анализа при помощи спектрометра энергетич. потерь электронов и рентгеновских кристаллич. и полупроводникового спектрометров и получения спектроскопич. изображений объектов с помощью фильтра, отсеивающего электроны с энергиями вне заданного энергетич. окна. Потери энергии электронов, пропущенных фильтром и формирующих изображение, вызываются присутствием в объекте какого-то одного хим. элемента. Поэтому контраст участков, в к-рых присутствует этот элемент, возрастает. Перемещением окна по энергетич. спектру получают распределения разл. элементов, содержащихся в объекте. Фильтр используется также в качестве монохроматора для повышения разрешающей способности Э. м. при исследовании объектов большой толщины, увеличивающих разброс электронов по энергиям и (как следствие) хроматическую абберацию.

С помощью дополнит. устройств и приставок изучаемый в ПЭМ объект можно наклонять в разных плоскостях на большие углы к оптич. оси, нагревать, охлаждать, деформировать. Ускоряющее электроны напряжение в высокоэнергетич. Э. м. составляет 100—400 кВ, оно регулируется ступенчато и отличается высокой стабильностью: за 1—3 мин не допускается изменение его величины более чем на  $(1-2) \cdot 10^{-6}$  от исходного значения. От ускоряющего напряжения зависит толщина объекта, которую можно «просветить» электронным пучком. В 100-киловольтных Э. м. изучают объекты толщиной от 1 до неск. десятков нм.

Схематически ПЭМ описываемого типа приведён на рис. 1. В его электронно-оптич. системе (колонне) с помощью вакуумной системы создаётся глубокий вакуум (давление до  $\sim 10^{-5}$  Па). Схема электронно-оптич. системы ПЭМ представлена на рис. 2. Пучок электронов, источником к-рых служит термокатод, формируется в *электронной пушке* и высоковольтном ускорителе и затем дважды фокусируется первым и вторым конденсорами, создающими на объекте электронное «пятно» малых размеров (при регулировке диаметр пятна может меняться от 1 до 20 мкм). После прохождения сквозь объект часть электронов рассеивается и задерживается апертурной диафрагмой. Нерассеянные электроны проходят через отверстие диафрагмы и фокусируются объективом в предметной плоскости промежуточной электронной линзы. Здесь формируется первое увеличенное изображение. Последую-