

(30 км). Плоскости орбит всех спутников очень близки между собой и к плоскости экватора У.

В 1977—81 по наблюдениям затмений звёзд при покрытиях их планетой открыто 9 колец У. (6, 5, 4,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\eta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ). В 1986 при пролёте «Вояджера-2» открыто 10-е кольцо, получившее обозначение 1986 UIR. Позднее были найдены свидетельства существования ещё одного, очень слабо различимого 11-го кольца. Кольца У. подобны кольцам Сатурна, но ширина их гораздо меньше: самое узкое  $\sim 1$  км, а наиболее широкое имеет (из-за влияния близлежащих спутников) переменную ширину от 22 до 93 км. Кроме того, в отличие от колец Сатурна, кольца У. обладают крайне низкой отражат. способностью, что скорее сближает их по строению с кольцами Юпитера. Поэтому можно предполагать, что слагающие их частицы не ледяные и отличаются от материала поверхностей спутников. Все кольца лежат в плоскости, почти совпадающей с экватором У.; из них  $\eta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  — практически круговые, у остальных колец есть заметный эксцентриситет (порядка 0,001; у  $\epsilon$  0,007). Скорость прецессии периаписа (ближайшей к планете точки) колец от  $1^\circ$  до  $3^\circ$  в день. Радиусы колец и их ширина (указана в скобках):

$R_6 = 41850$  км (1—3 км);  $R_5 = 42240$  км (2—3 км);  
 $R_4 = 42580$  км (2 км);  $R_\alpha = 44730$  км (8—11 км);  
 $R_\beta = 45670$  км (7—11 км);  $R_\eta = 47180$  км (2 км);  
 $R_\gamma = 47630$  км (1—4 км);  $R_\delta = 48310$  км (3—9 км);  
 $R_{1986\text{UIR}} = 50040$  км (1—2 км);  $R_\epsilon = 51160$  км (22—93 км).

Лит.: Гребеников Е. А., Рябов Ю. А., Поиски и открытия планет, 2 изд., М., 1984; Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет, 2 изд., М., 1983; Маров М. Я., Планеты Солнечной системы, 2 изд., М., 1986. М. Я. Маров.

**УРБАХА ПРАВИЛО** — экспоненциальная частотная зависимость коэф. поглощения света  $\alpha$  в нек-рых твёрдых телах вблизи края оптич. поглощения, т. е. в области частот  $\omega < \epsilon_g/\hbar$ , где  $\omega$  — частота света,  $\epsilon_g$  — ширина запрещённой зоны. У. п. имеет вид

$$\alpha = \alpha_0 \exp \left[ \frac{-\gamma(\epsilon_g - \hbar\omega)}{kT} \right]. \quad (*)$$

Здесь  $T$  — абс. темп-ра выше нек-рого критич. значения  $T_0$ ;  $\gamma$  — постоянная,  $\alpha_0$  — медленно меняющаяся ф-ция частоты.

В большинстве кристаллов вблизи края оптич. поглощения имеет место степенная зависимость коэф. поглощения света от частоты (см. *Спектры кристаллов*). Экспоненц. зависимость  $\alpha(\omega)$  была найдена эмпирически при исследовании поглощения света в *ионных кристаллах*. У. п. обусловлено взаимодействием электронов с *фононами*. Чтобы совершить межзонный переход, электрон должен получить энергию  $\epsilon > \epsilon_g$ ; её часть, равную  $\hbar\omega$ , электрон получает непосредственно от фотона, а дефицит  $\epsilon_g - \hbar\omega$  покрывается фононами. При этом правая часть соотношения (\*) приближённо воспроизводит вероятность многофононного перехода. Соотношение (\*) выполняется и в *silicioлегированных полупроводниках*, но лишь при достаточно высокой темп-ре (в GaAs при  $T \geq 100$  К). При низких темп-рах  $\alpha$  перестаёт зависеть от  $T$ . Вместо этого она становится зависящей от концентрации примесей, возрастающей вместе с ней. В этом случае имеет место аналог *Келдыша* — *Франца эффект*, при к-ром сдвиг края поглощения происходит под действием не внеш. электрич. поля, а пространственно неоднородного случайного поля примесей. Последнее приводит к появлению экспоненц. «хвостов» плотностей состояний в запрещённой зоне. У. п. описывает также поглощение света в аморфных полупроводниках.

Лит.: Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г., Физика полупроводников, М., 1990. Э. М. Эпштейн.

**УРОВНИ ЭНЕРГИИ** — возможные значения энергии квантовых систем (атомов, молекул, кристаллов атомных ядер и т. д.), состоящих из микрочастиц и подчиняющихся законам *квантовой механики*. Внутр. энергия квантовых систем может принимать только определ. дискретные значения:  $\epsilon_0, \epsilon_1, \epsilon_2, \dots$  ( $\epsilon_0 < \epsilon_1 < \epsilon_2 \dots$ ), соответствующие устойчивым (стационарным) состояниям системы. Графически эти состояния можно изобразить по аналогии с по-

тенц. энергией тела, поднятого на разл. высоты (уровни), в виде диаграммы У. э. (рис.). Каждому значению энергии соответствует горизонтальная линия, проведённая (в определ. масштабе) на высоте  $\epsilon_i$  ( $i=0, 1, 2, \dots$ ). Совокупность У. э. рассматриваемой квантовой системы образует её энергетический спектр. Ниж. уровень  $\epsilon_0$ , соответствующий наим. возможной энергии системы, наз. основным, все остальные —  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$  — возбуждёнными, т. к. для перехода из них необходимо возбудить систему — сообщить ей энергию.

Квантовые переходы между У. э. обозначают на диаграммах вертикальными (или наклонными) прямыми, соединяющими соответствующие пары У. э. На рис. показаны излучат. переходы с частотами  $\nu_{ik}$ , удовлетворяющими условию частот:  $\hbar\nu_{ik} = \epsilon_i - \epsilon_k$ ; безызлучат. переходы часто обозначаются волнистыми линиями. Направление перехода указывают стрелкой: стрелка, направленная вниз, соответствует процессу испускания фотона, стрелка в обратном направлении — процессу поглощения фотона с энергией  $\hbar\nu_{ik}$ . Дискретному энергетич. спектру соответствуют дискретные спектры поглощения и испускания (см. *Спектры оптические*).

Для квантовой системы, имеющей в определ. диапазонах значений энергии непрерывный энергетич. спектр, диаграмма выглядит в виде непрерывных последовательностей У. э. в соответствующих диапазонах. Напр., для атома Н такая непрерывная последовательность имеет место при  $\epsilon > \epsilon_\infty$ , где  $\epsilon_\infty$  — граница ионизации (рис. 1, б к ст. *Атом*), а для электрона в кристалле получается чередование разрешённых и запрещённых энергетич. зон (см. *Диэлектрики, Полупроводники*). При излучательных квантовых переходах между дискретными У. э. и У. э., относящимися к непрерывной последовательности, а также между непрерывными последовательностями У. э. получаются сплошные спектры поглощения и испускания.

Важной характеристикой У. э. являются их ширины ( $\Gamma$ ), связанные с *временем жизни* ( $\tau$ ) квантовой системы на уровне:  $\Gamma = 1/\tau$ . У. э. тем уже, чем больше время жизни, в согласии с *неопределённостей соотношением* для энергии и времени (см. *Ширина уровня*).

При рассмотрении У. э. квантовых систем значения энергии принято отсчитывать от осн. уровня. Наряду со шкалой энергий (обычно выражаемых в эВ, для атомных ядер — в МэВ или кэВ) в спектроскопии применяют пропорциональные ей шкалы частот  $\nu = \epsilon/\hbar$  (в радиоспектроскопии) и волновых чисел  $\nu/c = \epsilon/\hbar c$  (в оптич. спектроскопии); 1 эВ соответствует  $2,4180 \cdot 10^{14}$  Гц и  $8065,5$  см $^{-1}$ . В рентгеновской спектроскопии применяют единицу энергии ридберга; 1 Ry = 13,606 эВ.

В оптич. спектроскопии часто употребляют термин «спектральный терм», подразумевая под ним значение  $T = -\epsilon/\hbar c$ , отсчитываемое для атомов от границы ионизации и выражаемое в см $^{-1}$ .

Лит. см. при статьях *Атом, Молекула, Твёрдое тело, Ядро атомное*. М. А. Ельшицев.

**УСИЛЕНИЕ АНТЕННЫ** — способность антенны в передающем режиме преобразовывать (с учётом тепловых потерь в антенне) эл.-магн. энергию, подводимую по фидеру, в энергию колебаний в свободном пространстве и концентрировать последнюю в заданном направлении. Эта способность характеризуется коэф. усиления (КУ), к-рый определяется как произведение коэф. направленного действия, зависящего от формы пространственной диаграммы направленности, на кпд, равный отношению активных мощностей, излучаемой антенной и подводимой к антенне. Численно КУ показывает, во сколько раз нужно увеличить

