

О механизмах, поддерживающих существование горячих К. з., см. в ст. *Звёздные атмосферы*. Не все звёзды обладают горячими коронами. Не имеют корон гиганты и сверхгиганты спектральных классов более поздних, чем КЗ (т. е. с эффективной температурой ниже, чем у звёзд класса КЗ), а также, видимо, более горячие звёзды с очень мощным звёздным ветром.

Н. Г. Бочкарёв.

**КОРОТКИЕ ВОЛНЫ** (декаметровые волны) — радиоволны в диапазоне длин волн от 10 до 100 м (30—3 МГц). На характер их распространения сильно влияет ионосфера Земли. Загоризонтное распространение К. в. осуществляется преим. путём их отражения от ионосферы или многократного отражения от ионосферы и поверхности Земли. На небольшое расстояние (~500 км) К. в. могут распространяться в виде *земной волны*. Возможно и сверхдальнее, в частности кругосветное, распространение К. в. вдоль ионосферных волноводов (см. *Волноводное распространение радиоволн*).

Частота, при к-рой К. в. отражаются от ионосферы, зависит от угла их падения на ионосферу и концентрации электронов на уровне отражения. При углах, меньших нек-рого критич. значения, К. в. перестают отражаться от ионосферы. Вследствие этого в радиосвязи возникают зоны молчания, а для радиограссы определ. протяжённости существует макс. применимая частота радиосвязи. В зависимости от длины трассы, времени суток и геофиз. условий эта частота может изменяться практически во всём диапазоне К. в. В ниж. слоях ионосферы К. в. могут сильно поглощаться, особенно в периоды ионосферных возмущений, вызванных солнечной активностью. В высоких широтах это явление приводит к длит. нарушениям радиосвязи. При ионосферном распространении К. в. большой амплитуды возникают нелинейные явления и неустойчивости плазмы, приводящие к искусств. ионосферным возмущениям.

К. в. используются в радиосвязи, при исследовании ионосферы Земли и планет, внеш. слоёв солнечной короны, др. радиоастр. объектов.

Лит.: Гизбург В. Л., *Распространение электромагнитных волн в плазме*, 2 изд., М., 1967; Альперт Я. Л., *Распространение радиоволн и ионосфера*, М., 1960; Дэвис К., *Радиоволны в ионосфере*, пер. с англ., М., 1973.

Л. М. Ерушимов.

**КОРПУСКУЛЯРНАЯ ОПТИКА** (от лат. corpusculum — тельце, частица) — раздел физики, в к-ром изучаются законы движения заряж. частиц (электронов и ионов) в электрич. и магн. полях. Назв. «К. о.» отвечает аналогии, существующей между движением частиц в этих полях и распространением света в оптически неоднородных средах. Подробнее см. *Электронная и ионная оптика*.

**КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ** — важнейшее универсальное свойство природы, заключающееся в том, что всем микрообъектам присущи одновременно и корпускулярные и волновые характеристики. Так, напр., электрон, нейтрон, фотон в одних условиях проявляются как частицы, движущиеся по классич. траекториям и обладающие определ. энергией и импульсом, а в других — обнаруживают свою волновую природу, характерную для явлений интерференции и дифракции частиц. В качестве первичного принципа К.-в. д. лежит в основе квантовой механики и квантовой теории поля.

Впервые К.-в. д. был установлен для света. Выполненные к кон. 19 в. опыты по интерференции, дифракции и поляризации света, казалось, однозначно свидетельствовали о его волновой природе и подтверждали теорию Максвелла, установившую, что свет представляет собой эл.-магн. волны. Вместе с тем М. Планк (M. Planck) в 1900 показал, что для объяснения закона равновесного теплового излучения необходимо принять гипотезу о дискретном характере излучения, полагая, что энергия излучения кратна нек-

рой величине  $\epsilon$ , названной им квантом энергии:  $\epsilon = h\nu$ , где  $\nu$  — частота волны, а  $h$  — постоянная, имеющая размерность *действия* и названная позже *Планка постоянной*. Впоследствии выяснилось, что более удобной является величина  $\hbar = h/2\pi \approx 1,05 \cdot 10^{-27}$  эрг·с, тогда  $\epsilon = \hbar \omega$ , где  $\omega = 2\pi\nu$  — круговая частота волны. Поскольку предположение о дискретном характере излучения противоречило волновой теории света, согласно к-рой энергия световой волны может принимать любые (непрерывные) значения, пропорциональные квадрату амплитуды эл.-магн. колебаний, Планк сначала связывал дискретность энергии излучения со свойствами излучателей (атомов). Однако в 1905 А. Эйнштейн (A. Einstein), исходя из экспериментально установленного *Закона Вина* *закона излучения* (к-рый является предельным случаем *Планка закона излучения*, справедливым при больших частотах:  $\hbar \omega \gg kT$ , где  $T$  — абс. темп-ра), показал, что энтропия излучения в области справедливости закона Вина совпадает с энтропией газа, состоящего из частиц с энергией  $\epsilon = \hbar \omega$ . Так возникло представление о частицах света — *фотонах*, несущих квант энергии  $\epsilon = \hbar \omega$  и движущихся со скоростью света. В дальнейшем, исходя из релятивистской кинематики, фотонам был приписан импульс  $p = (\hbar \omega/c)n = \hbar k$  [где  $n$  — единичный вектор вдоль направления движения фотона,  $k = (\omega/c)n = (2\pi/\lambda)n$  — волновой вектор]. Представление о фотонах было успешно использовано для объяснения законов фотоэффекта и спектров тормозного рентг. излучения; оно получило окончат. подтверждение после открытия *Комптона эффекта* (1922). Т. о., было установлено, что эл.-магн. излучение наряду с волновыми обладает корпускулярными свойствами. В наиб. отчётливой форме значение существования К.-в. д. для излучения было выявлено в 1909 А. Эйнштейном, показавшим, что закон излучения Планка приводит к ф-ле для флуктуации энергии излучения, содержащей два члена, один из к-рых отвечает флуктуации энергии для совокупности классич. световых волн, а второй — флуктуации энергии газа, состоящего из независимых частиц.

Для установления всеобщего характера К.-в. д. решающее значение имело изучение законов движения электронов в атоме. В 1913 Н. Бор (N. Bohr) использовал постоянную Планка для определения стационарных состояний в атоме водорода. При этом ему удалось объяснить наблюдаемые на опыте спектральные закономерности и выразить через заряд электрона, его массу и постоянную Планка радиус атома и *Ридберга постоянную*, оказавшиеся в хорошем согласии с эксперим. данными. Способ нахождения стационарных состояний электронов в атомах был усовершенствован А. Зоммерфельдом (A. Sommerfeld), показавшим, что для стационарных орбит классич. действие является целым кратным  $2\pi\hbar$ . Успех теории Бора, привлёкшего для объяснения атомных явлений квантовые представления и постоянную Планка, к-рая до этого, казалось, связывала лишь корпускулярные и волновые характеристики эл.-магн. излучения, навёл на мысль о существовании К.-в. д. и для электронов. В связи с этим Л. де Бройль (L. de Broglie) в 1924 высказал гипотезу о всеобщем характере К.-в. д. Согласно гипотезе де Бройля, любой движущейся частице с энергией  $\epsilon$  и импульсом  $p$  соответствует волна с  $\omega = \epsilon/\hbar$  и волновым вектором  $k = p/\hbar$ , так же как с любой волной связаны частицы, обладающие энергией  $\epsilon = \hbar \omega$  и импульсом  $p = \hbar k$ . Де Бройль отметил *релятивистскую инвариантность* приведённого соотношения, связывающего четырёхмерный вектор энергии-импульса частицы  $(\epsilon/c, p)$  с четырёхмерным волновым вектором  $(\omega/c, k)$ , и высказал предположение о том, что волновая механика частиц должна находиться в таком же соотношении с классич. механикой,