

плитуды). Неиспользуя граничные условия, волновая теория позволяет определить отношения A_1/A_0 и A_2/A_0 и, следовательно, найти коэф. отражения $R=|A_1/A_0|^2$ и преломления D ($R+D=1$) (см., напр., *Формулы*); для простоты используется лишь одна компонента волны).

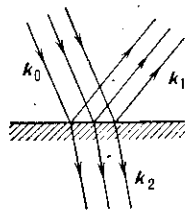


Рис. 2.

Рассмотрим это явление с корпускулярной точки зрения. Согласно корпускулярно-волновому дуализму, падающей волне отвечают частицы с импульсом $p_0 = \hbar k_0$, а отражённой и преломлённой волнам — частицы с импульсами $p_1 = \hbar k_1$ и $p_2 = \hbar k_2$.

Поскольку частота волн при отражении и преломлении не меняется, частицы в каждой из волн имеют одинаковую энергию: $\epsilon_0 = \epsilon_1 = \epsilon_2 = \hbar \omega$. В мысленном (и в принципе осуществимом) эксперименте, когда на границу двух сред падает одна частица, возникает вопрос, в какой из волн — отражённой или преломлённой — она окажется. Специфика корпускулярного описания (в отличие от волнового описания, позволяющего падающей волне разделиться на две) не допускает разделения одной падающей частицы на две, т. к. в противном случае при одинаковых энергиях частиц не выполнялся бы, напр., закон сохранения энергии. Поэтому приходится считать, что частица оказывается случайным образом либо в отражённой, либо в преломлённой волне. Т. о., корпускулярное описание процесса требует прежде всего отказа от полностью детерминированного описания движения отд. частицы и вследствие этого предположения о том, что законы движения могут предсказывать лишь вероятности, с к-рыми частица отразится от границы раздела двух сред или пройдет через неё.

Обозначим символом $|X\rangle$ состояние частицы, возникающее в результате взаимодействия падающей частицы с границей двух сред, а символами $|p_1\rangle$ и $|p_2\rangle$ — состояния частицы, отвечающие отражённой и преломлённой волнам (с единичными амплитудами). Поскольку в состоянии $|X\rangle$ существует вероятность обнаружить частицу как в отражённой, так и в преломлённой волне, описание процесса в терминах корпускулярных представлений может быть получено, если предположить, что состояние $|X\rangle$ является суперпозицией состояний $|p_1\rangle$ и $|p_2\rangle$:

$$|X\rangle = c_1 |p_1\rangle + c_2 |p_2\rangle, \quad (2)$$

причём квадраты коэф. $|c_1|^2$ и $|c_2|^2$ пропорциональны вероятностям обнаружить частицу в соответствующих состояниях. Соотношение (2) по виду полностью аналогично суперпозиции отражённой и преломлённой волн на границе двух сред. Однако по своему смыслу суперпозиция состояний (2) принципиально отличается от суперпозиции к.-л. полей или волн. В то время как суперпозиция двух колебаний (напр., в упругой волне) имеет наглядный смысл и соответствует реальному сложению двух возможных колебаний, суперпозиция состояний (2) содержит альтернативные состояния и одной и той же частицы $|p_1\rangle$ и $|p_2\rangle$, т. е. допускает возможность того, что частица одновременно находится в двух альтернативных (по отношению к выбранному способу регистрации) состояниях. Это является отказом от наглядных классич. представлений о частицах как матер. точках, движущихся по определ. траекториям. Необходимость такого отказа диктуется корпускулярно-волновым дуализмом, к-рый следует принять как надёжно установленное на опыте первичное свойство матери. При этом только вероятностная интерпретация суперпозиции двух альтернативных состояний (2) позволяет избежать логич. противоречия, т. к., согласно этой интерпретации, в каждом отд. эксперименте частица с определ. вероят-

ностью может быть обнаружена лишь в одном из этих состояний. Возможность нахождения частицы одновременно в разных состояниях реализуется только при повторных измерениях в ансамбле тождественно «приготовленных» состояний частицы. Разумеется, если система состоит из большого числа независимых тождеств. частиц (как, напр., монохроматич. световая волна, состоящая из большого числа одинаковых фотонов), измерение сразу даёт распределение частицы по возможным состояниям в соответствии с вероятностями обнаружить её в этих состояниях.

Аналогия (2) с суперпозицией волн может быть распространена далее. Между преломлённой и отражённой волнами существует разность фаз, определяемая условиями на границе двух сред. Она является наблюдаемой величиной и может быть измерена, если посредством к.-л. устройства осуществить интерференцию этих волн (или их интерференцию с падающей волной). Для того чтобы при корпускулярном описании сохранились фазовые соотношения между соответствующими волнами, необходимо в качестве коэф. c_1, c_2 в соотношении (2) использовать комплексные числа и считать, что физ. смысл имеет разность фаз этих комплексных чисел. Т. о., для полного описания волнового явления на корпускулярном языке необходимо приписать физ. смысл не только вероятностям $|c_1|^2, |c_2|^2$, но и самим коэф. c_1, c_2 — т. н. амплитудам вероятности — с точностью до общей фазы. При этом для измерения разности фаз амплитуд необходимы интерференц. опыты.

2. Поляризационные явления (суперпозиция состояний, отличающихся значениями внутр. характеристики частиц).

Поляризация представляет собой чисто волновое свойство, поскольку она определяется направлением колебаний в волне. Тем не менее частицам, соответствующим волне с определ. поляризацией, можно приписать дополнит. (внутр.) степень свободы, принимающую разл. значения для разных состояний поляризации. Для определенности рассмотрим фотоны, отвечающие световой волне. Опыт показывает, что угл. распределение электронов в фотоэффекте зависит от направления поляризации световой волны. А т. к. фотоэффект является чисто корпускулярным эффектом, то это означает, что фотон обладает дополнит. степенью свободы, связанной с поляризацией световой волны, к-рой он соответствует. Не рассматривая физ. смысла этой дополнит. степени свободы (связанной со спином фотона), можно убедиться, что она формально удовлетворяет всем требованиям, к-рые можно предъявить к наблюдаемой (физ.) величине (см. *Наблюдаемая*), а именно: а) у фотона существуют состояния, в к-рых указанная величина с достоверностью принимает вполне определ. (собственные) значения; б) результатом измерения этой величины в произвольном состоянии фотона всегда является одно из её собств. значений. Пусть устройство П (поляризатор) пропускает эл.-магн. волну с поляризацией, параллельной оси y или оси x (рис. 3, а; 3, б; двойными стрелками обозначены направления поляризации). Обозначим состояние фотона, прошедшего поляризатор в положении 3, а и 3, б, соответственно символами $|p, \uparrow\rangle$ и $|p, \rightarrow\rangle$,

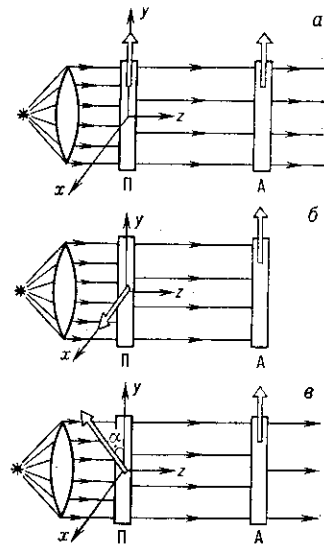


Рис. 3.

277