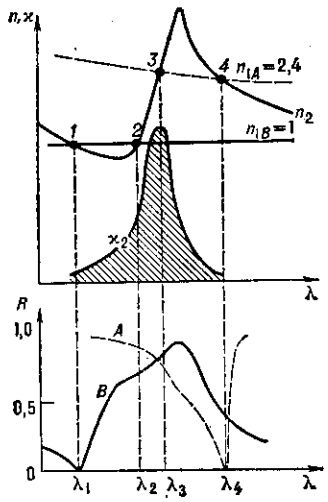

Рис. 1. Вверху: дисперсионные кривые показателя преломления воздуха, алмаза и среды n_2 в окрестности полосы поглощения $\varkappa_2$. Внизу: спектры отражения границы сред n_1 и n_2; *A* — алмаз — ионный кристалл, $\varphi \geqslant 60°$; *B* — воздух — ионный кристалл, $\varphi = 0°$.

электрика, величина $\delta = \pi$; при обратном проходе света из диэлектрика в воздух $\delta = 0$. Если имеется поглощение света, то сдвиг фаз отражённого света при нормальном падении из воздуха определяется из выражения

$$\mathrm{tg}\delta = -\frac{2\varkappa_2}{1 - n_2^2 - \varkappa_2^2}.$$

При слабом поглощении ($\varkappa < 0{,}1$) глубина проникновения света в вещество составляет относительно большую величину $\sim\lambda$, поэтому сдвиг фаз для прозрачной и слабо поглощающей сред практически одинаков.

О. с. от прозрачных диэлектриков при наклонном падении с учётом разделения падающего пучка на две равнозначные компоненты, у к-рых электрич. вектор $\boldsymbol{E}$ перпендикулярен (*s*-компонента) и параллелен (*p*-компонента) плоскости падения, описывается *Френеля формулами*

$$r_s = -\frac{\sin(\varphi - \theta)}{\sin(\varphi + \theta)}, \quad r_p = \frac{\mathrm{tg}(\varphi - \theta)}{\mathrm{tg}(\varphi + \theta)},$$

где φ и θ — углы падения и преломления соответственно.

Для прозрачных диэлектриков выделяют два характерных случая О.с.: отражение от оптически более плотной среды ($n_1 < n_2$, $\varphi > \theta$) и отражение от оптически менее плотной среды ($n_1 > n_2$, $\varphi < \theta$).

В случае $n_1 < n_2$ компонента $R_s = |r_s|^2$ плавно возрастает (рис. 2, *а*) от значений при $\varphi = 0$ (нормальное падение) до $R = 1$ при $\varphi = 90°$. Компонента $R_p = R_s$ при нормальном падении, а с ростом угла падения плавно уменьшается до нуля при т. н. угле Брюстера $\varphi_б = \mathrm{arctg}(n_2/n_1)$; $\varphi_б + \theta = 90°$. Свет, отражённый при угле $\varphi_б$, полностью поляризован, что используется в оптич. приборах для получения и анализа параметров поляризов. света.

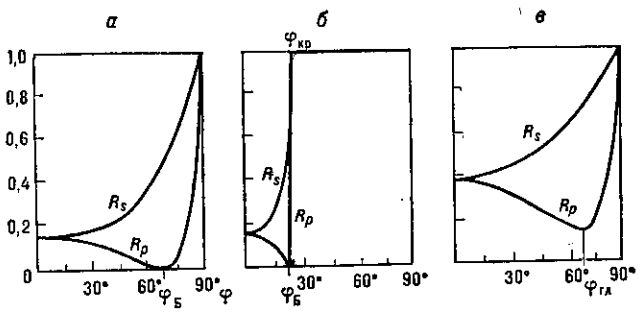

Рис. 2. Зависимость энергетических коэффициентов отражения R_s и R_p от угла падения φ для прозрачных диэлектриков: *а*) $n_1 < n_2$ (воздух — алмаз); *б*) $n_1 > n_2$ (алмаз — воздух); *в*) поглощающей среды (платина, $n_2 = 2{,}00$, $\varkappa_2 = 2{,}03$).

При отражении фаза *s*-компоненты волны меняется на π для всех значений φ от 0 до 90°, а для *p*-компоненты фаза меняется на π для значений φ от 0 до $\varphi_б$, а при $\varphi > \varphi_б$ не меняется. Если падающий свет естественный, то коэф. отражения $R = {}^1/_2 (R_s + R_p)$.

При отражении от оптически менее плотной среды ($n_1 > n_2$) различают две области: до и после критич. угла $\varphi_{кр} = \arcsin(n_2/n_1)$, к-рый также наз. углом полного внутр. отражения. При углах $\varphi < \varphi_{кр}$ коэф. отражения R_s и R_p меняются так же, как и для предыдущего случая с заменой $\varphi \leftrightarrow \theta$ и $n_1 \leftrightarrow n_2$. Т. е. волна, падающая из первой среды на вторую под углом φ, отражается так же, как волна, падающая из второй среды на первую под углом θ. При углах $\varphi \geqslant \varphi_{кр}$ происходит полное отражение энергии падающего света, т. е. $R = 1$ (рис. 2,*б*). В окрестности $\varphi_{кр}$ происходит резкое изменение коэф. отражения; так, напр., для границы стекло—воздух при отклонении от $\varphi_{кр}$ на 1′ R уменьшается до 0,9; последующее изменение угла на 30′ приводит к падению R до 0,25. Высокая чувствительность коэф. отражения вблизи $\varphi_{кр}$ широко используется в оптич. приборах — *рефрактометрах*, предназначенных для контроля показателя преломления. Вблизи $\varphi_{кр}$ находится и угол полной поляризации ($\varphi_в$), где $R_p = 0$. При полном внутр. отражении *p*- и *s*- компоненты волны претерпевают скачки фаз δ_p и δ_s, к-рые определяются соотношением

$$\mathrm{tg}\frac{\delta_s}{2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \mathrm{tg}\frac{\delta_p}{2} = \frac{\sqrt{\sin^2\varphi - (n_2/n_1)^2}}{\cos\varphi}.$$

При $\varphi < \varphi_в$ фаза *s*- и *p*-компонент не меняется; при $\varphi > \varphi_в$ фаза *s*-компоненты остаётся без изменения, а *p*-компоненты меняется на π. При $\varphi > \varphi_{кр}$ сдвиг фаз *s*- и *p*-компонент отражённого света различен, в результате чего линейно поляризов. свет после отражения становится эллиптически поляризованным.

О. с. от поглощающих поверхностей при наклонном падении может быть проанализировано с помощью ф-л Френеля при подстановке в них комплексного показателя преломления и учёте *Снелля закона* преломления $n_1\sin\varphi = \tilde{n}_2 \sin\theta$. В результате получаются сложные выражения, связывающие коэф. отражения R и оптич. постоянные n и $\varkappa$, к-рые для преломлённого луча имеют смысл эфф. величин n_φ, $\varkappa_\varphi$, т. к. они уже зависят от угла падения, причём угол преломления становится комплексным. Происходит это в результате неоднородности волн в сильно поглощающих средах (таких, как, напр., металлы): плоскости равных фаз и амплитуд не совпадают, амплитуда этих волн меняется вдоль фронта волны, причём плоскость равных амплитуд параллельна границе отражения. Действит. член χ угла преломления определяется как угол между нормалью к отражающей границе и нормалью к поверхности равных фаз. При $\varphi = 0$ (нормальное падение) значения $n_\varphi = n$ и $\varkappa_\varphi = \varkappa$ наз. главными. Главные и эффективные оптич. постоянные связаны соотношениями $n_\varphi^2 - \varkappa_\varphi^2 = n^2 - \varkappa^2$; $n_\varphi \varkappa_\varphi \cos\chi = n\varkappa$ (т. н. инварианты Кеттелера), не зависящими от угла падения. Наиб. сильно зависимость оптич. постоянных от φ выражена для металлов с $n < 1$ (напр., благородные металлы) и гораздо слабее для диэлектриков, где и выполняется закон Снелля.

О. с. от поглощающих сред имеет ряд особенностей: отражающая граница вблизи $\varphi_{кр}$ становится нерезкой; отсутствует угол полной поляризации, хотя *p*-компонента имеет минимум (рис. 2, *в*) при угле, к-рый наз. главным $\varphi_{гл}$. Для гл. угла падения разность фаз между *p*- и *s*-компонентами $\delta_p - \delta_s = \pi/2$. Скачки фаз при отражении, различные для *p*- и *s*-компонент, приводят к тому, что линейно поляризов. свет после отражения становится эллиптически поляризованным.

Особенности разл. параметров отражённого света лежат в основе целого ряда методов исследования оптич. постоянных прозрачных и поглощающих конденсиров. сред (включая и тонкие плёнки). К таким методам относятся *рефрактометрия*, *фотометрия*, *эллипсометрия*, *нарушенное полное внутреннее отражение*. Общее аналитич. решение, позволяющее находить обе оптич. постоянные по измеренным R_s и R_p или δ_s и δ_p, довольно громоздко и требует по крайней мере двух независимых