

диапазоном. В Ф. и интенсивных световых потоков учитывается, что плотности потоков излучения совр. импульсных источников часто достигают таких значений, при к-рых не выполняются нек-рые законы, используемые в классич. фотометрии, такие, как, напр., постоянство коэф. пропускания оптич. среды или спектральной чувствительности фотоприёмника вне зависимости от интенсивности излучения. В совр. Ф. и широко применяется цифровая вычислит. техника, быстродействие к-рой согласуется с длительностью световых импульсов, что позволяет вести обработку информации в реальном масштабе времени.

Лит.: Волькенштейн А. А., Кувалдин Э. В., Фотоэлектрическая импульсная фотометрия, Л., 1975; Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения, под ред. А. Ф. Котока, М., 1981. Э. В. Кувалдин.

ФОТОН (γ) (от греч. $\rho\acute{o}\varsigma$, род. падеж $\rho\acute{o}\tau\acute{o}\varsigma$ —свет)—элементарная частица, квант эл.-магн. поля. Масса покоя Ф. m_0 равна нулю (эксперим. ограничение $m_0 < 5 \cdot 10^{-60}$ г), и поэтому его скорость равна скорости света. Спин Ф. равен 1 (в единицах \hbar), и, следовательно, Ф. относится к бозонам. Частица со спином 1 и ненулевой массой покоя, согласно квантовой механике, имеет $2J+1$ спиновых состояний, различающихся проекцией спина, но, поскольку $m_0=0$, Ф. может находиться только в двух спиновых состояниях с проекциями спина на направление движения (спиральностью) ± 1 ; этому свойству в классич. электродинамике соответствует поперечность эл.-магн. волны.

Т. к. не существует системы отсчёта, в к-рой Ф. покоится, ему нельзя приписать определ. внутренней чётности. По электрич. и магн. мультипольностям системы зарядов (2^l -поля; см. Мультипольное излучение), излучившей данный Ф., различают состояния Ф. электрич. и магн. типа; чётность электрич. мультипольного Ф. равна $(-1)^l$, магнитного $(-1)^{l+1}$. Ф.—истинно нейтральная частица и поэтому обладает определ. зарядовой чётностью C ($C=-1$). Кроме электромагнитного взаимодействия Ф. участвует в гравитационном взаимодействии.

Представление о Ф. возникло в ходе развития квантовой теории и теории относительности [термин «Ф.» был введён Г. Льюисом (G. Lewis) в 1929]. В 1900 М. Планк (M. Planck) получил ф-лу для спектра теплового излучения абсолютно чёрного тела (см. Планка закон излучения), исходя из предположения, что излучение эл.-магн. волн происходит определ. порциями—«квантами», энергия к-рых может принимать лишь дискретный ряд значений, кратных неделимой порции—кванту $\hbar\omega$, где ω —частота эл.-магн. волны. Развивая идею Планка, А. Эйнштейн ввёл гипотезу световых квантов, согласно к-рой эл.-магн. излучение само состоит из таких квантов, и на её основе объяснил ряд закономерностей фотоэффекта, люминесценции, фотохим. реакций. Построенная Эйнштейном спец. теория относительности (1905) создала предпосылки для того, чтобы считать эл.-магн. излучение одной из форм материи, а световые кванты—реальными элементарными частицами. В опытах А. Комптона (A. Compton) по рассеянию рентг. лучей было установлено, что кванты излучения подчиняются тем же кинематич. законам, что и частицы вещества, в частности квант излучения с частотой ω обладает также и импульсом $\hbar\omega/c$ (см. Комптона эффект).

В результате развития квантовой механики стало ясно, что ни наличие волновых свойств, проявляющихся в волновых свойствах света, ни способность исчезать или рождаться в актах поглощения и испускания не выделяют Ф. среди др. элементарных частиц. Оказалось, что всем частицам вещества, напр. электронам, присущи не только корпускулярные, но и волновые свойства, и была установлена возможность взаимопревращения элементарных частиц. Так, в эл.-статич. поле атомного ядра Ф. с энергией > 1 МэВ может превратиться в электрон и позитрон (процесс *рождения пар*), а при столкновении электрона и позитрона может произойти их аннигиляция в два (или три) γ -кванта.

Квантовой теорией взаимодействия Ф. с заряд. лептонами с учётом их возможных взаимопревращений является квантовая электродинамика. Взаимодействие Ф. с адрона-

ми и атомными ядрами описывается с помощью разл. теоретич. моделей: векторной доминантности, модели *партонов* и др. В 60-х гг. была создана теория *электрослабого взаимодействия*—единая теория эл.-магн. и слабого взаимодействий, в к-рой Ф. выступает вместе с тремя гипотетич. «переносчиками» слабого взаимодействия—*промежуточными векторными бозонами*. В теориях, объединяющих разл. фундам. взаимодействия на основе *суперсимметрии*, Ф. имеет своего гипотетич. суперпартнёра—*фотино*.

Лит. см. при статьях *Электромагнитное взаимодействие*, *Электрослабое взаимодействие*. Э. А. Тагиров.

ФОТОННОЕ ЭХО—когерентное излучение, испускаемое средой по окончании воздействия на неё последовательности интенсивных коротких импульсов резонансного эл.-магн. (светового) поля и обусловленное восстановлением фазового согласования между отд. излучателями. Эффект Ф.э. был предсказан в 1962 У. Х. Копвиллемом и В. Р. Нагибаровым и наблюден экспериментально в 1964 И. Абеллой, Н. Курнитом и С. Хартманом.

Эффект Ф.э. является следствием динамики квантовых переходов в среде в условиях неоднородного уширения резонансной спектральной линии (см. Уширение спектральных линий) и по своей природе аналогичен *спиновому эху*. Рассмотрим поведение резонансного отклика среды при последовательном воздействии на неё двух импульсов излучения (рис. 1) с частотой ω , близкой к частоте

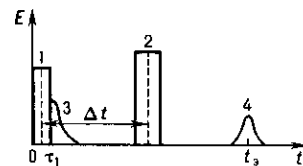


Рис. 1. Формирование двухимпульсного эха: 1, 2—падающие импульсы; 3—сигнал затухания свободной поляризации; 4—импульс фотонного эха.

ω_{ba} разрешённого перехода между квантовыми уровнями a и b частиц веществ (атомов, молекул, примесных центров и т. п.). Первый, возбуждающий импульс переводит атомы, первоначально находившиеся в ниж. состоянии $|a\rangle$, в когерентную суперпозицию состояний $|a\rangle$ и $|b\rangle$, индуцируя тем самым элементарные диполи, колеблющиеся с частотой поля и связанные между собой по фазе. Вследствие этого образуется волна макроскопич. поляризации вещества с частотой ω и волновым вектором k_1 .

По окончании воздействия возбуждающего импульса амплитуда наведённой резонансной макроскопич. поляризации постепенно уменьшается (см. Затухание свободной поляризации). Это уменьшение обусловлено, во-первых, действием процессов необратимой релаксации (см. Двухуровневая система), к-рые ведут к потере когерентного возбуждения отд. излучателей с характерным временем $T_2 = \gamma^{-1}$ (γ —однородная полуширина линии). Во-вторых, оно связано с расфазировкой колебаний диполей, вызванной различием их собств. частот ω_{ba} . Эфф. скорость затухания из-за расфазировки определяется временем T_2^* ; для гауссовой ф-ции распределения собств. частот $g(\omega_{ba} - \omega)$ это время определяется как

$$T_2^* = 2\sqrt{\ln 2} \gamma_n^{-1} g(\omega_{ba} - \omega),$$

где γ_n —однородная полуширина спектральной линии на полувысоте, ω_0 —её центр. частота.

Если преобладает неоднородное уширение ($T_2 \gg T_2^*$), то макроскопич. поляризация успевает затухнуть, прежде чем релаксирует когерентное возбуждение отд. излучателей. Принципиально важно, что последний механизм затухания является обратимым. Под действием второго импульса длительностью $\tau_2 \ll T_2$ фазы атомных осцилляторов меняют знак, вследствие чего после его окончания ($t > t_2$) расфазировка излучателей сменяется их фазировкой. Это означает, что если по окончании первого импульса разность фаз $\delta\phi$ двух любых атомных осцилляторов увеличивалась с пост. скоростью $\Delta\omega$, равной разности их собств. частот, то после обращения фаз $\delta\phi$ убывает с той же