

ЯДЕРНАЯ ОПТИКА И ПУЧКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

ЯДЕРНАЯ ОПТИКА ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЧАСТИЦ

В. Г. Барышевский

Явления интерференции, дифракции и преломления света хорошо известны даже школьникам. Длившаяся столетиями дискуссия, является ли свет волной или частицей, в конечном итоге привела к созданию квантовой механики и распространению волновой концепции на поведение любых частиц. Как результат, понятия интерференции, дифракции и преломления были введены для описания взаимодействия частиц с веществом, ядрами и друг с другом.

Изучение взаимодействия света с веществом показало, что помимо частоты и направления распространения световая волна характеризуется поляризацией. Первый эксперимент, в котором наблюдалось явление, обусловленное поляризацией света, был проведен Е. Bartholin в 1669 году. В результате было открыто явление двулучепреломления света в исландском шпате.

В настоящее время хорошо известно, что в случае двулучепреломления света, стационарными состояниями в среде являются состояния с линейной поляризацией параллельной или перпендикулярной оптической оси кристалла. Эти состояния имеют разные показатели преломления и движутся в веществе с разными скоростями. Как результат, например, циркулярная поляризация света превращается в линейную и наоборот.

Другая серия экспериментов была осуществлена D.F. Arago в 1811 году и J.V. Biot в 1812 году. Они открыли явление оптической активности, в котором плоскость поляризации света вращается при прохождении света через вещество.

В 1817 году А. Fresnel установил, что в оптически активной среде, вращающей плоскость поляризации, стационарными являются состояния с левой и правой циркулярной поляризацией, которые, как он обнаружил в 1823 году, движутся с разными скоростями (т. е. обладают разными показателями преломления). Напомним также, что позднее был открыт эффект Фарадея, т. е. поворот плоскости поляризации света в веществе, помещенном в магнитное поле, и эффект Керра (эффект двулучепреломления в веществе, помещенном в электрическое поле).

Микроскопический механизм, приводящий к оптической анизотропии вещества, обусловлен связями, наложенными на электроны в атомах и молекулах. При выходе за оптический диапазон (в рентгеновский и γ -диапазон), когда частота фотона становится много большей характерных атомных частот, такими связями можно пренебречь и эффекты оптической анизотропии исчезают. Более того, длина волны фотона в этом случае оказывается много меньше расстояния

между атомами и, на первый взгляд, явления, связанные с преломлением, также пропадают. Тем не менее, и в γ -диапазоне существует эффект поворота плоскости поляризации света, обусловленный квантово-электродинамическими эффектами рождения электрон-позитронных пар (В.Г. Барышевский, В.Л. Любошиц 1965). В веществе с поляризованными ядрами помимо явления поворота плоскости поляризации γ -квантов существует и эффект двойного лучепреломления γ -квантов. Следует отметить, что двойное лучепреломление γ -квантов, обусловленное рассеянием на ядрах, возникает в случае ядер со спином равным единице или более. В случае ядер со спином $\frac{1}{2}$ имеется только поворот плоскости поляризации. При еще больших энергиях (сотни ГэВ и ТэВ) существует эффект двулучепреломления γ -квантов в кристаллах, обусловленный эффектами рождения виртуальных пар электронов и позитронов в электрическом поле кристаллов (В.Г. Барышевский 1979).

Эффекты, аналогичные оптической анизотропии вещества, существуют и для других типов частиц. Прежде всего отметим, что, например, если нейтрон пролетает границу вакуум–вещество, то возникает эффект преломления волны Де Бройля, также как и в случае фотонов, характеризующийся показателем преломления (Ферми, 1944). В этом случае эффект преломления определяется ядерными взаимодействиями.

Исследования ядерно-оптической активности вещества стартовало с работы В.Г. Барышевского и М.И. Подгорецкого, выполненной в 1965, в которой было показано, что при прохождении через мишень с поляризованными ядрами возникает вращение спина нейтрона, являющееся кинематическим аналогом эффекта поворота плоскости поляризации света благодаря эффекту Фарадея. Замечательно, что для частиц со спином единица существует эффект аналогичный двулучепреломлению света (В.Г. Барышевский, 1992). Эффект обусловлен внутренней анизотропией частиц, имеющих спин 1 и более. Подробное рассмотрение этой новой развивающейся интересной области исследований дано в [1].

В настоящее время среди перспективных исследований в этой области наиболее важными являются эксперименты, направленные на обнаружение $T(CP)$ неинвариантной оптической гиротропии вещества и, как следствие, на измерение $T(CP)$ неинвариантной поляризуемости атомов и ядер, основанные на использовании высокоточных оптических методов [1]. Измерение указанных величин наряду с измерением электрических дипольных моментов электронов и ядер позволяет получить без использования ускорителей высоких энергий сведения о процессах протекающих в области планковских длин. Перспективными являются исследования явления двулучепреломления дейтонов высокой энергии на ускорительных комплексах NICA, GSI, LHC и более высоких энергиях, постройка на LHC и FCC экспериментов по измерению аномальных магнитных моментов короткоживущих элементарных частиц и квадрупольного момента омега-гиперона, исследование зависимости аномального магнитного момента электрона (позитрона) от величины внешнего электрического поля с помощью эффекта поворота спина релятивистских частиц, движущихся в изогнутом кристалле [1]. В связи с созданием в ЦЕРН и GSI пучков медленных антипротонов появляется возмож-

ность изучения потенциала взаимодействия антипротона и ядра в области предельно низких энергий (электронвольты) с помощью явления ядерной прецессии [2]. Существенно, что эксперименты в области изучения $T(CP)$ неинвариантной оптической гиротропии вещества могут быть поставлены и в нашей республике.

Следует отметить, что исследования когерентных процессов при генерации рентгеновского и γ -излучения, сопровождающиеся взаимодействием релятивистских заряженных частиц с кристаллом, привело к развитию практически важного направления, получившего название объемные лазеры на свободных электронах (ОЛСЭ) [3].

Литература

1. *Baryshevsky V. G.* High-Energy Nuclear Optics of Polarized Particles. World Scientific, 2012
2. *Baryshevsky V. G.* // Physics Letters B. 2012. Vol. 711. P. 394–397
3. *Baryshevsky V. G.* // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B. 2015. Vol. 355. P. 17–23

NUCLEAR OPTICS OF POLARIZED PARTICLES

V. G. Baryshevsky

The centenary debate about the light being either a wave or a particle finally led up to origination of the quantum mechanics foundations and extension of the wave approach to the every particle behavior. As a result, the concepts of interference, diffraction and refraction were introduced for description of the particle–matter, particle–nucleus and particle–particle interaction. It was proved that the effects similar to the optical anisotropy of matter also exist for every type of particles.