Фототоки в полуметаллах Вейля

Голуб Л.Е., Ивченко Е.Л., Леппенен Н.В.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

DOI 10.34077/Semicond2019-476

Представлен обзор теоретических и экспериментальных достижений по фототокам в полуметаллах Вейля – трехмерных системах с линейной дисперсией, обладающих невырожденным энергетическим спектром. Они были открыты и стали активно изучаться в последнее время, привлекая большое внимание благодаря своим необычным электрическим и оптическим свойствам в объеме и на поверхности и тому, что они расширяют представления топологической теории в физике твердого тела. В таких системах в простейшей модели носители тока описываются эффективным гамильтонианом, который имеет вид гамильтониана Вейля, используемого для описания нейтрино, чем и обусловлено их название.

В полуметаллах Вейля замечательным образом ведет себя “циркулярный” фототок, то есть электрический ток, появляющийся при поглощении света без приложения внешнего электрического напряжения и меняющий свое направление на противоположное при смене знака круговой поляризации света. А именно, при отсутствии плоскостей отражения циркулярный фототок направлен вдоль момента фотона, и его темп генерации определяется, помимо напряженности электрического поля волны, мировыми постоянными. Этот результат практически не меняется при учете кулоновского взаимодействия, а для непрямых внутризонных оптических переходов в каждом вейлевском узле универсальное значение принимает плотность циркулярного фототока [1]. Нелинейный по интенсивности циркулярный фототок зависит от соотношения времён энергетической и импульсной релаксации фотоносителей и при больших интенсивностях нарастает линейно по амплитуде световой волны.

Реальные полуметаллы Вейля TaAs, TaP, NbAs, NbP и $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ имеют точечную симметрию C_{4v} и C_{3v} соответственно. Таким образом, в них присутствует зеркальная симметрия, при которой вклады в циркулярный фототок от двух узлов Вейля, связанных отражением, в точности компенсируют друг друга. Поэтому в направлении распространения света генерируется чисто долинный фототок. Циркулярный электрический фототок может генерироваться в направлении поперёк момента фотона, если свет распространяется перпендикулярно поворотной оси симметрии 3-его или 4-ого порядка [2]. Такой фототок микроскопически не может быть получен в рамках чисто вейлевского гамильтониана, но обусловлен линейными по импульсу спин-независимыми поправками, приводящему к “наклону” дисперсионных конусов. Установлено, что циркулярный фототок в полуметаллах симметрии C_{4v} отличен от нуля в модели с наклоном, если его энергетический спектр анизотропен в плоскости, перпендикулярной оси C_4 . Однако наклон дисперсии приводит к фототоку лишь в ограниченной области частот. Предложена альтернативная модель кубических по импульсу спин-зависимых поправок к гамильтониану Вейля, приводящих к фототоку, нарастающему с частотой света [3].

Исследованы фототоки, индуцированные магнитным полем при неполяризованном оптическом возбуждении, инвертирующие своё направление при инверсии поля. В квантовых полях такой фототок обусловлен прямыми переходами между одномерными магнитными подзонами полуметаллов Вейля. Фототок максимален, если один из фотоносителей возбуждается в киральную подзону с энергией, меньшей циклотронной. Учёт спин-независимого наклона спектра в магнитном поле приводит к конверсии чисто долинного фототока в электрический. Релаксация магнитоиндуцированного фототока обусловлена как рассеянием между узлами Вейля, так и неупругими процессами [1,2].

[1] L. E. Golub and E. L. Ivchenko, *Phys. Rev. B* **98**, 075305 (2018).

[2] Л. Е. Голуб, Е. Л. Ивченко, Б. З. Спивак, *Письма в ЖЭТФ* **105**, 744 (2017).

[3] Н. В. Леппенен, Е. Л. Ивченко, Л. Е. Голуб, *ЖЭТФ* **155** (2019).