

**Валерий Евгеньевич БОРИСЕНКО –**  
профессор кафедры химической физики,  
доктор физико-математических наук

УДК 530.12

## **А. ЭЙНШТЕЙН И СОВРЕМЕННАЯ ОПТИКА**

**АННОТАЦИЯ.** *Описана история развития некоторых разделов оптики, тесно связанных с фундаментальными работами Эйнштейна.*

*The author focuses upon the history of development of some sections of optics closely connected with the fundamental Einstein's works.*

...Каждому дозволено выбирать направление приложения своих усилий и каждый человек может найти утешение в прекрасном изречении Лессинга, что поиск истины значительно ценнее, чем обладание ею.

*А. Эйнштейн*

В науке XX в. трудно найти ученого, чье влияние на ее дальнейшее развитие было столь благотворным и имело столь далеко идущие последствия по сравнению с Альбертом Эйнштейном.

В краткой статье я ограничусь рассмотрением влияния идей А. Эйнштейна на развитие современной оптики и астрофизики в той ее части, которая непосредственно связана с оптикой.

Весьма заметный вклад внес Эйнштейн в создание квантовой теории света. Основываясь на идее М. Планка (1900 г.) о квантовании энергии осциллятора, Эйнштейн (1905 г.) высказал идею о дискретной природе самого излучения, предположив, что свет не только излучается и поглощается квантами, но и распространяется в виде отдельных квантов или фотонов.

Это предположение нашло блестящее экспериментальное подтверждение в работах А. Комптона (1923 г.).

В 1887 г. Г. Герц открыл явление фотоэффекта, законы которого в 1888-1889 гг. были хорошо изучены профессором Московского университета А. Г. Столетовым. Однако некоторые из них не могли найти своего объяснения с точки зрения классической электродинамики.

В 1905 г. Эйнштейн показал, что все основные закономерности фотоэффекта легко объясняются на основе закона сохранения энергии для поглощенного фотона. В частности, с помощью уравнения Эйнштейна для фотоэффекта обосновывается существование «красной» границы фотоэффекта, что являлось своеобразным «камнем преткновения» при попытках объяснения с классической точки зрения.

За важные физико-математические исследования, особенно за работы по фотоэффекту, А. Эйнштейн в 1921 г. был удостоен Нобелевской премии.

С именем А. Эйнштейна связана идея о корпускулярно-волновом дуализме природы света, имеющая не только физическое, но и философское значение. Каждый фотон обладает одновременно и корпускулярными и вол-

новыми свойствами. Волновые свойства подтверждены в экспериментах Тейлора (1909 г.), наблюдавшего интерференцию отдельных фотонов.

А. Эйнштейном установлен (1912 г.) основной закон фотохимии: каждый поглощенный фотон вызывает одну элементарную фотореакцию.

Одним из важнейших научных открытий А. Эйнштейна, оказавшим колоссальное влияние на развитие оптики и спектроскопии, является введение вероятностной трактовки процессов испускания и поглощения света (1916 г.). В 1917 г. им впервые высказана идея о существовании вынужденного излучения. Значение последнего для современной квантовой электроники трудно переоценить.

Вероятностная трактовка процессов излучения и поглощения света позволила создать современную теорию интенсивностей в спектрах атомов и молекул и понять многие закономерности, объяснение которых невозможно с точки зрения классической физики. В частности, в рамках теории излучения Эйнштейна впервые строгий вывод получила формула Планка, описывающая распределение энергии в спектре равновесного излучения черного тела. Планк при выводе этой формулы лишь частично использовал квантовые представления.

В рамках теории Эйнштейна строгое обоснование получили известные законы равновесного излучения – закон Стефана-Больцмана и закон Вина. Формула Релея-Джинса, вывод которой с точки зрения классической физики был безупречным и которая не соответствовала экспериментально наблюдаемому распределению энергии в спектре излучения черного тела («ультрафиолетовая катастрофа»), получается из формулы Планка как предельный случай при отказе от дискретности излучения (при стремлении энергии кванта к нулю).

Первая экспериментальная попытка обнаружить вынужденное излучение принадлежит нашему соотечественнику В. А. Фабриканту (1939 г.). Эксперимент проводился на парах ртути, возбужденных электрическим разрядом в видимой области спектра. Им же впервые высказана идея о возможности создания усилителя света.

Заимствованная из области радиофизики идея использования положительной обратной связи позволяла превратить усилитель света в оптический квантовый генератор (ОКГ) когерентного излучения.

Первые квантовые генераторы, работающие в микроволновом диапазоне на аммиаке (мазеры), созданы в 1954 г. Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым в СССР и В. Гордоном, Цайгером и Ч. Таунсом в США. 1954 г. считается началом развития нового направления в физике – квантовой электроники.

Первый оптический квантовый генератор, работающий в видимой области спектра (лазер), создан в 1960 г. американским ученым Мейманом (рубиновый лазер), а в 1961 г. А. Джаван, А. Беннет и Эрриот создали первый газовый (гелий-неоновый) лазер.

Человечество по достоинству оценило эти достижения – в 1964 г. Н. Г. Басову, А. М. Прохорову и Ч. Таунсу была присуждена Нобелевская премия.

Сейчас трудно представить область человеческой деятельности, где не используются оптические квантовые генераторы. Новейшие технологии в медицине, космических исследованиях, термоядерном синтезе связаны с использованием оптических квантовых генераторов, теоретические основы которых заложены еще А. Эйнштейном.

В 1916 г. А. Эйнштейн завершил создание общей теории относительности или современной релятивистской теории тяготения, в которой принципы теории относительности распространены на неинерциальные системы отсчета, что обусловило бурное развитие астрофизики как науки.

В этой связи хотелось бы остановиться на эффекте Доплера для световых волн, детальное исследование которого стало возможным благодаря созданию теории относительности А. Эйнштейна.

Эффект Доплера – изменение частоты, воспринимаемой наблюдателем, при относительном движении источника и приемника впервые обосновано австрийским физиком Х. Доплером (Ch. Doppler) в 1848 г. В том же году А. Физо подтвердил эту идею экспериментально на звуковых волнах и высказал мысль о возможности обнаружения движения небесных тел относительно Земли по смещению спектральных линий, наблюдаемых в земных условиях и при приеме излучения небесных тел.

Спектральный метод определения скорости небесных тел впервые применен Фогелем (1861 г.), а впоследствии Линнеем и Корню для измерения скорости вращения Солнца. В 1868 г. таким способом была измерена «лучевая» скорость Сириуса. В качестве «метки» использовано смещение линий в спектре атома водорода.

Экспериментальное подтверждение эффекта Доплера для световых волн в земных условиях получено в 1900 г. А. А. Белопольским и впоследствии (1907 г.) Б. Б. Голицыным.

Однако глубокое теоретическое исследование эффекта Доплера для световых волн (релятивистского эффекта Доплера) стало возможным только после создания теории относительности.

Использование постулата теории относительности о постоянстве скорости света в любых инерциальных системах координат и известных уравнений Х. А. Лоренца позволило получить формулы для преобразования частоты электромагнитного излучения в инерциальных системах координат в зависимости от угла  $\theta$  между направлением скорости относительного движения и направлением излучения и абберации (угол  $\delta$  между направлением на источник и направлением в гелиоцентрической системе координат).

Благодаря формулам для преобразования частоты стало возможным наблюдение так называемого поперечного эффекта Доплера (при  $\theta=90^\circ$ ). Экспериментальное подтверждение поперечного эффекта получено в 1938-1941 гг. американскими учеными Г. Айвсом и Дж. Стиллвеллом.

Измеряя доплеровское смещение в спектрах галактик, американский ученый Э. Хаббл (1929 г.) сделал важнейшее открытие в астрофизике: удаленные от нас галактики разбегаются! Это открытие подтвердило нестационарную космическую модель, предложенную в 1922 г. А. А. Фридманом.

Важное значение эффект Доплера имеет и в спектроскопии, обуславливая уширение спектральных линий за счет движения излучающих или поглощающих частиц. Доплеровская ширина спектральных линий оказывается пропорциональной  $\sqrt{T}$ , что позволяет измерять температуру светящегося газа.

В астрофизике принцип Доплера используется для оценки скорости извержения водородных масс из недр Солнца (протуберанцы). Следствием

явления Доплера является открытие так называемых двойных звезд, вращающихся вокруг общего центра тяжести. Астрономические наблюдения позволили вычислить период обращения двойных звезд, а также их «лучевые» скорости.

Дополнительные особенности эффекта Доплера возникают при движении источника излучения со скоростью  $V$ , превышающей фазовую скорость света в данной среде (так называемый аномальный эффект Доплера).

Аномальный эффект Доплера впервые наблюдали в 1934 г. С. И. Вавилов и П. А. Черенков (эффект Вавилова-Черенкова). Теоретическое объяснение этого эффекта сделано И. Е. Таммом и И. М. Франком (1937 г.). За открытие этого эффекта и его теоретическое обоснование П. А. Черенкову, И. Е. Тамму и И. М. Франку в 1958 г. присуждена Нобелевская премия.

Приведенные примеры наглядно иллюстрируют влияние идей А. Эйнштейна на развитие современной оптики и астрофизики. А. Эйнштейн по праву считается одним из основателей современной физики. Его заслуги перед наукой получили прижизненное признание. Он был членом многих академий наук, в том числе членом-корреспондентом Российской академии наук (1922) и иностранным почетным членом АН СССР (1926).

В своей работе «Принципы научного исследования» А. Эйнштейн писал: «Храм науки – строение многосложное. Различны пребывающие в нем люди и приведшие их туда духовные силы. Некоторые занимаются наукой с гордым чувством своего интеллектуального превосходства; для них наука, является тем подходящим спортом, который должен им дать полноту жизни и удовлетворение честолюбия. Можно найти в храме и других: они приносят сюда в жертву продукты своего мозга только в утилитарных целях. Если бы посланный богом ангел пришел и изгнал из храма всех людей, принадлежащих к этим двум категориям, то храм бы катастрофически опустел, но в нем все-таки остались бы еще люди как прошлого, так и нашего времени».

Для людей, оставшихся в Храме, наука – центр тяжести духовной жизни, дающий объективное видение и понимание гармонии мира. Настойчивость и неистощимое терпение этих людей подобно религии, оно вытекает из непосредственной потребности познания, именно к таким людям относился А. Эйнштейн.

Свыше 30 лет, до последних дней своей жизни (1955 г.), А. Эйнштейн работал над теорией единого поля, пытаясь объединить механику, электродинамику и квантовую механику в единую логическую систему. Больше всего его страшила мысль, что он уйдет из жизни, так и не завершив своей теории.

А. Эйнштейну не довелось завершить эту титаническую работу, его научной мысли не хватало «точки опоры». Слишком много «белых пятен» было и остается в науке по сей день, которые не позволяют создать единую теорию поля.

А. Эйнштейн опередил свою эпоху на многие десятилетия. С его именем связана новая эра в физике, и благодарные потомки с признательностью и восхищением склоняют головы перед гением А. Эйнштейна и даром его научного предвидения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. Einstein. Mitt. Phys. Ges. Zurich. 18, 1916; Phys. Zs., 18, 121, 1917 (квантовое рассмотрение равновесия излучения с веществом).
2. В. Гайтлер. Элементарная квантовая механика. ГИИЛ. М., 1948. 146 с.

3. В. Гайтлер. Квантовая теория излучения. М.: ИЛ, 1956.
4. А. Ф. Иоффе. К 5-летию со дня смерти А. Эйнштейна // УФН. 1960. Т. 71. С.3-7.
5. У. М. Кляус. Физика и реальность у Эйнштейна. М.: Наука, 1965. С. 321-348.
6. А. Эйнштейн. Испускание и поглощение по квантовой теории: Собр. научных трудов. Т. 3. М., 1966. С. 386; К квантовой теории излучения. Там же. С. 393.
7. А. М. Френк. Оптика движущихся тел. М., 1972.
8. В. Л. Гинзбург. Теоретическая физика и астрофизика. М., 1975.
9. А. Ф. Иоффе. О физике и физиках. Л.: Наука, 1977. С. 224-230.
10. И. М. Франк. Эйнштейн и оптика // УФН. 1979. Т.129. Вып. 4.
11. Е. Н. Бутиков. Оптика: Учебное пособие для студентов физических специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1986. 512 с.

*Анатолий Александрович КИСЛИЦЫН –  
профессор кафедры механики многофазных  
систем, доктор физико-математических  
наук, декан физического факультета*

УДК 530.12

### **КОНЦЕПЦИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ФАКУЛЬТАТИВНОГО КУРСА «ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА**

*АННОТАЦИЯ. Обсуждается методика преподавания основ теории относительности на младших курсах физического факультета. Подробно описан факультативный курс «Теория относительности», читаемый автором в 4 семестре для студентов специальности «Физика».*

*The author offers several approaches to teach the course «Introduction into Einstein's Theory of Relativity» for the first- and second-year students of Physical Sciences Faculty that he delivers during the forth term to the students who specialize in «Physics».*

Создание теории относительности явилось одним из важнейших достижений физики XX в. В связи с отмечаемым в 2005 г. 100-летием этой теории, представляется уместным обсудить некоторые вопросы, связанные с преподаванием теории относительности в вузах.

В современных учебных программах теория относительности разбита на несколько частей и распределена понемногу почти по всем разделам общей физики: «механика», «электричество и магнетизм», «оптика», «физика атома, атомного ядра и частиц». В каждом из разделов материал, относящийся к теории относительности, занимает небольшой объем, и часто ему не уделяется должного внимания. Опыт преподавания показывает, что освоить его удастся только самым сильным студентам, причем, в основном, за счет дополнительных занятий. В то же время этот материал очень важен как с точки зрения дальнейшего изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин, так и для формирования у студентов современного научного мировоззрения. Поэтому представляется весьма