Пример сингулярности с каустикой указанного выше типа дает гравитационная $p-p$ волна ($h^0=Nd(f_+ + x^2)$)

$$ds^2 = 2dx^2du + [-f_{+,v}^2 - (f_{+,u} - 1)^2]\,du^2 - dv^2 - (dx^3)^2.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Ivanenko D., Sardanashvily G.//Phys. Lett. 1982. **91A**. P. 341. [2] Sardanashvily G.//Acta Phys. Hung. 1985. **57**. P. 31. [3] Sardanashvily G., Yanchevsky V.//Acta Phys. Pol. 1986. **B17**. P. 1017. [4] Warner F.//Am. J. Math. 1965. **87**. P. 575. [5] Rosquist K.//Comm. Math. Phys. 1983. **88**. P. 339. [6] Арнольд В. И., Варченко А. Н., Гусейн-Заде С. М. Особенности дифференцируемых отображений. М., 1980.

Поступила в редакцию
23.06.88

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 1

УДК 535.14(09)

К ИСТОРИИ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ В РОССИИ

Т. В. Алексахина, Б. И. Спасский

(кафедра общей физики для физического факультета)

Раскрывается вклад русских физиков в развитие квантовой теории излучения до создания квантовой механики. Рассматриваются первое экспериментальное подтверждение фотонной теории и теоретические работы, исследовавшие связь гипотезы квантов света и формулы Планка.

До настоящего времени в работах по истории физики мало уделялось внимания исследованиям русских физиков в области квантовой теории излучения. Тем не менее в России квантовая теория излучения почти сразу нашла своих сторонников, несмотря на то, что подавляющее большинство физиков относилось к ней весьма скептически. Даже сам Эйнштейн свою теорию считал только эвристической [1].

В России уже в 1907 г. появилась работа А. Ф. Иоффе «Заметка о фотоэлектрическом эффекте (по поводу статьи Э. Ладенбурга)» [2]. Эта статья Иоффе была первой в русской печати оригинальной работой по квантовой теории. В ней содержался критический разбор результатов экспериментов Ладенбурга на основе использования понятия квантов света.

Немецкий физик Ладенбург в 1907 г. экспериментально исследовал внешний фотоэффект [3]. Он показал, что число освобождающихся фотоэлектронов не зависит от температуры, кроме того, он измерял энергию фотоэлектронов в момент их вылета из металла в зависимости от частоты падающего света. Результаты своих экспериментов Ладенбург интерпретировал с помощью классических представлений, совершенно игнорируя работу Эйнштейна.

Иоффе в своей работе, опираясь на теорию квантов света, показал, что экспериментальные данные Ладенбурга подтверждают формулу Эйнштейна для фотоэффекта, $h\nu = eP + A$, где ν — частота падающего света, P — задерживающий потенциал, A — работа выхода, с большей точностью, чем классическую резонансную модель фотоэффекта, предложенную самим Ладенбургом. Известно [4], что о своих результатах по фотоэффекту Ладенбург докладывал в 1907 г. на съезде немецких естествоиспытателей и врачей и в развернувшейся дискуссии по докладу Ладенбурга кванты света даже не упоминались.

Иоффе же не только подчеркнул обстоятельность и точность исследований Ладенбурга (точность составляла 2%) по сравнению с предыдущими экспериментами по фотоэффекту, но и дал им квантовую трактовку. Нанося данные наблюдений Ладенбурга на график зависимости $\nu(P)$, Иоффе получил прямые линии, что подтверждало формулу Эйнштейна.

Таким образом, Иоффе показал, что данные Ладенбурга могут быть экспериментальным подтверждением квантовой теории света, полученным еще до известных работ Хьюза [5], Ричардсона и Комптона [6] (1912 г.), Милликена [7] (1916 г.).

Следует также отметить работы Иоффе [8] и [9]. До этого времени оставался невыясненным вопрос о связи гипотезы Эйнштейна о квантах света и закона излуче-

ния Планка. Как известно, сам Эйнштейн пользовался в своей работе 1905 г. формулой Вина, а не Планка. Иоффе, пытаясь получить формулу излучения Планка на основе гипотезы о квантах света, предложил рассматривать излучение не только как совокупность отдельных квантов света с энергией $h\nu$, но и как их «ассоциацию». Формально Иоффе пришел к нужному результату, хотя эта точка зрения оказалась в дальнейшем неправильной. Интересно отметить, что Планк, познакомившись с работой Иоффе, весьма неодобрительно отнесся к ней [10], что, конечно, следовало из его отношения к теории квантов.

Вопросами связи между гипотезой Эйнштейна и формулой Планка занимались и другие петербургские физики: Ю. А. Крутков и П. Эренфест. В 1911 г. Эренфест подчеркнул, что гипотеза невзаимодействующих квантов света ведет не к закону излучения Планка, а к закону Вина — частному случаю закона Планка [11]. Строгое математическое доказательство этого утверждения на основе рассмотрения статистической модели дал Крутков в 1914 г. в своей работе [12]. Несколькими месяцами позже еще одно доказательство было дано Эренфестом в совместной статье с Камерлинг-Оннесом [13]. Возникшая в 1913 г. теория Бора переключила интерес физиков к исследованию строения атома.

После революции в 20-е годы в нашей стране возобновились работы по теории квантов света. Можно указать на известные эксперименты Иоффе и Добронравова [14]. Хотя экспериментальное подтверждение квантовой теории света к тому времени было уже получено Милликеном, а позже А. Комптоном, но в отличие от предыдущих опыты Иоффе и Добронравова были построены так, что давали более непосредственное доказательство квантовой структуры света. То есть, как пишет А. Н. Вяльцев в своем исследовании по истории открытия фотона [4], в данном случае наблюдатель как бы воочию видит сгусток световой энергии, видит, как он летит, как поглощается электроном и как тот, совершив работу выхода, покидает облучаемое тело.

Интересным подтверждением квантовой теории света являются и эксперименты Вавилова по непосредственному наблюдению флуктуаций света. Надо заметить, что в начале 20-х годов Вавилов был противником теории квантов света, как и многие другие физики. Он даже считал, что получил экспериментальное доказательство несостоятельности квантовой теории света, исследуя выполнение закона Бугера для света малых интенсивностей. На III съезде русских физиков в 1922 г. он сказал, что несмотря на то, что гипотеза о квантах света позволила Эйнштейну вывести законы фотоэффекта и фотохимических процессов, нельзя забывать о явном противоречии понятия квантов света основным фактам оптики. Поэтому Вавилов заключил, что значение световых квантов можно расценивать так же, как значение тепловой, электрической, магнитной и прочих жидкостей, которые в свое время были полезны для эвристических целей, но по существу были неверны [15].

После создания квантовой механики и концепции дуалистической природы света Вавилов изменил свое мнение и на основе своих исследований поглощения света малых интенсивностей провел эксперименты, явившиеся наглядным подтверждением квантовой теории света [16].

Таким образом, из сказанного выше можно заключить, что в России квантовая теория света получила и теоретическую поддержку (задолго до работ Бозе и Эйнштейна (1924—1925 гг.) были предприняты попытки связать формулу излучения Планка и гипотезу о квантах света), и серьезное экспериментальное подтверждение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Einstein A.//Ann. Phys. 1905. **20**. P. 199. [2] Иоффе А. Ф.//Журн. Русск. физ.-хим. общества. 1907. **39**. С. 248. [3] Ladenburg E.//Phys. Z. 1907. **8**. P. 590. [4] Вяльцев А. Н. Открытие элементарных частиц. Электрон β. Фотон γ. М., 1981. С. 138. [5] Hughes A.//Phys. Trans. of Phys. Soc. (L.). 1912. **212**. P. 205. [6] Richardson O. W., Compton K. T.//Phyl. Mag. 1912. **24**. P. 575. [7] Millikan R. A.//Phys. Rev. 1916. **7**. P. 355. [8] Иоффе А. Ф.//Журн. Русск. физ.-хим. общества. Часть физ. 1910. **42**. С. 409. [9] Иоффе А. Ф.//Там же. 1912. **44**. С. 37. [10] Иоффе А. Ф. О физике и физиках. Л., 1977. С. 222. [11] Ehrenfest P.//Ann. Phys. 1911. **36**. P. 91. [12] Крутков Ю. А.//Журн. Русск. физ.-хим. общества. Часть физ. 1914. **46**. С. 12. [13] Эренфест П., Камерлинг-Оннес Г.//Там же. 1915. **47**. С. 119. [14] Сообщения о научно-технических работах в республике. IV съезд русских физиков. Л., 1924. С. 20. [15] Вавилов С. И.//УФН. 1924. **4**. С. 36. [16] Вавилов С. И. Микроструктура света. М., 1950. С. 9.

Поступила в редакцию
08.06.88