

УДК 548.73

К ИСТОРИИ НАЧАЛА РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

© 2023 г. А. П. Орешко^{1,*}, А. А. Якута¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: ap.oreshko@physics.msu.ru

Поступила в редакцию 10.01.2023 г.

После доработки 10.01.2023 г.

Принята к публикации 17.01.2023 г.

В общем контексте истории зарождения в России рентгеноструктурного анализа освещен интересный эпизод раннего этапа отечественных рентгеновских структурных исследований – получение в 1896 г. профессором Московского университета П.Н. Лебедевым “дырковых фотографий”, которые могут быть интерпретированы как дифрактограммы кристаллов. По мнению авторов, именно данный научный результат является исходным пунктом развития в России экспериментальных рентгеновских методов изучения структуры кристаллов. Это позволяет считать П.Н. Лебедева вдохновителем известных пионерских научных работ Г.В. Вульфа и Н.Е. Успенского в данной области.

DOI: 10.31857/S0023476123700224, EDN: XDYKAU

Хорошо известна традиционная версия истории начала отечественных рентгеновских структурных исследований.

Новости об экспериментах М. Лауэ, В. Фридриха и П. Книппинга, проведенных в Мюнхенском университете, в результате которых в апреле 1912 г. была обнаружена интерференция рентгеновского излучения на пространственной решетке кристалла [1], привез в Москву непосредственно из Мюнхена Николай Евгеньевич Успенский

(рис. 1) [2]. Уже в ноябре 1912 г. он доложил об этих опытах на заседаниях Московского физического общества и Общества изучения и распространения физических наук [3]. Это открытие вызвало бурную реакцию российских кристаллографов с мировым именем – Евграфа Степановича Федорова и Георгия Викторовича Вульфа (рис. 2).

Е.С. Федоров отмечал в письме народовольцу и популяризатору науки Николаю Александровичу Морозову [4]: “Для нас, кристаллографов, это

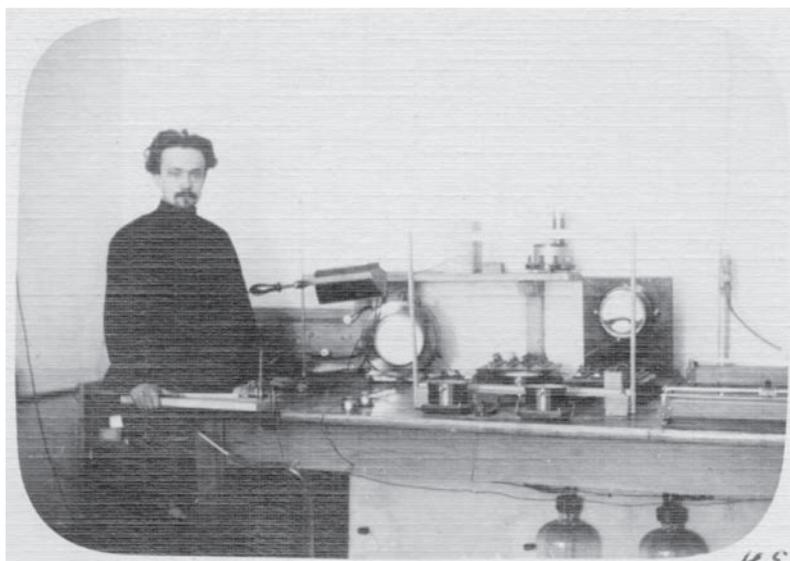


Рис. 1. Н.Е. Успенский в Московском коммерческом институте (около 1913 г.).



Рис. 2. Г.В. Вульф в Московском городском народном университете им. А.Л. Шанявского (1912 г.).

открытие первоклассной важности, потому что теперь впервые с полной наглядностью воспроизведено то, что нами лишь теоретически клалось в основу представления о структуре кристаллов, на чем, в частности, основан и кристаллохимический анализ”.

В свою очередь, Г.В. Вульф 21 ноября 1912 г. писал профессору минералогии Мюнхенского университета Паулю Гроту [2]: “Они производят очень большое впечатление хотя бы потому, что они для меня как кристаллографа очень важны... Из этих работ не столько следует волновая природа рентгеновских лучей, сколько сетчатая структура кристаллов”.

Как видим из этих строк, и Е.С. Федоров, и Г.В. Вульф сразу оценили перспективы, которые открывало использование рентгеновского излучения для подтверждения и исследования структуры кристаллов. Важнейшим стал вопрос о том, как связаны пятна на рентгенограммах с направлениями в кристаллах. Только ответив на него, можно было указать способ определения структуры кристаллов по данным дифракции рентгеновских лучей.

Уже зимой 1912–1913 гг. Г.В. Вульф рассмотрел интерференцию рентгеновского излучения в кубических кристаллах ZnS (именно они использовались в опыте Лауэ–Фридриха–Книппинга) [5] и предложил новую основную формулу для расчета картин рентгеновской интерференции в кристаллах [6]. Этой работой [6] Г.В. Вульф заложил основы рентгеновского структурного анализа и навсегда связал свое имя с законом интерференции рентгеновских лучей, отраженных атомными плоскостями кристалла. “...проф. Вульф, к несчастью, рано умерший, был одним из первых, если не первый, кто нашел нить к разгадке рентгенограмм незадолго до своей смерти” – так написал о нем позже В.И. Вернадский [7]. Параллельно с теоретическими изысканиями Г.В. Вульф в соавторстве с Н.Е. Успенским выполнил и первые в России экспериментальные рентгеноструктурные исследования [8, 9].

Все это по праву позволяет считать Георгия Викторовича Вульфа основоположником отечественных рентгеновских структурных исследований.

Однако есть основания полагать, что история таких исследований началась задолго до 1913 г., и начало им было положено в Московском университете.

Открытие X -лучей Вильгельмом Конрадом Рентгеном в ноябре 1895 г. вызвало чрезвычайно большой интерес и в научной среде, и среди совершенно далеких от науки людей. Весть об этом открытии быстро облетела весь мир и уже в декабре 1895–январе 1896 гг. опыты Рентгена повторили многие ученые–физики того времени.

Не отставали от своих иностранных коллег и российские физики. К январю 1896 г. Петр Николаевич Лебедев в Московском и Иван Иванович Боргман в Санкт-Петербургском университете уже обладали самостоятельно изготовленными рентгеновскими установками. На этих установках были получены успешные снимки, которые затем демонстрировались на публичных лекциях, посвященных X -лучам и их природе [10].

В декабре 1896 г. П.Н. Лебедев (рис. 3) создал оригинальную экспериментальную установку [12] для исследования влияния материала анода рентгеновской трубки на интенсивность и характер X -лучей.

В колбе рентгеновской трубки со стороны катода П.Н. Лебедев прорезал четыре окошка небольшого размера и вклеивал в них тонкие пластинки из различных материалов. Для регистрации прошедших сквозь окошки X -лучей использовались фотопластинки, закрытые по бокам свинцовыми экранами во избежание посторонней засветки излучением, выходящим через соседние окошки (рис. 4). В результате П.Н. Лебедев получил загадочные “дырковые фотографии” (рис. 5).



От рентгеновских лучей
вылезла борода

Рис. 3. П.Н. Лебедев (1896 г.). Надпись на обороте фотографии, сделанная его рукой: “От рентгеновских лучей вылезла борода” [11].

Так как при получении “дырковых фотографий” отсутствовала посторонняя засветка, то происхождение и вид этих изображений должны были быть связаны с материалами, вклеенными в окошки рентгеновской трубки. При постановке своего эксперимента П.Н. Лебедев мог вклеивать в окошки различные пластинки, в том числе монокристаллические. В этом случае “дырковые фотографии” представляют собой ни что иное, как дифрактограммы кристаллов, полученные в широком полихроматическом пучке. Ширина пучка определяется размерами окошек. Этот вывод вполне подкрепляется приведенным на рис. 5 изображением, на котором можно узнать дифрактограмму бериллия, обладающего гексагональной структурой.

Однако ни эта, ни другие “дырковые фотографии”-дифрактограммы [14] так никогда и не были опубликованы П.Н. Лебедевым и впервые увидели свет лишь в 1978 г. [12]. По-видимому, причина этого кроется в том, что проведенный эксперимент опередил свое время.

Истинная природа X -лучей в то время была неизвестна. Сам В.К. Рентген, хотя и не акцентировал внимание на этой проблеме, склонялся к предположению, что открытые им лучи являются продольными колебаниями в эфире в противовес поперечным световым колебаниям. Как позднее

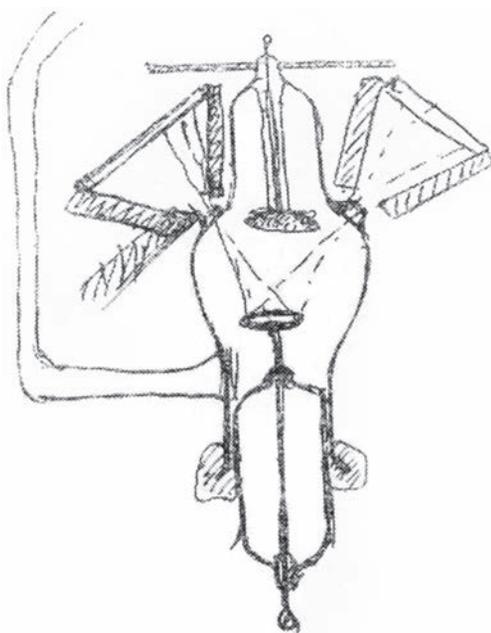


Рис. 4. Черновая схема экспериментальной рентгеновской установки, нарисованная П.Н. Лебедевым [13].

заметил его ученик А.Ф. Иоффе, это была, по-видимому, единственная ошибка, которую когда-либо допустил В.К. Рентген [15]. Взгляд П.Н. Лебедева на природу X -лучей, высказанный им еще в конце января 1896 г., был более близок к истине: “Предположение, что X -лучи суть лучи ультраультрафиолетовые... является... весьма возможной гипотезой” [16]. Однако чаша весов с доказа-

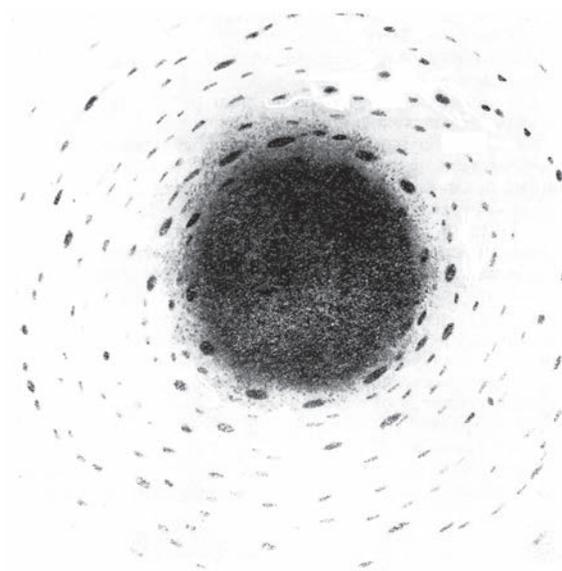


Рис. 5. “Дырковая фотография”, полученная П.Н. Лебедевым [14].

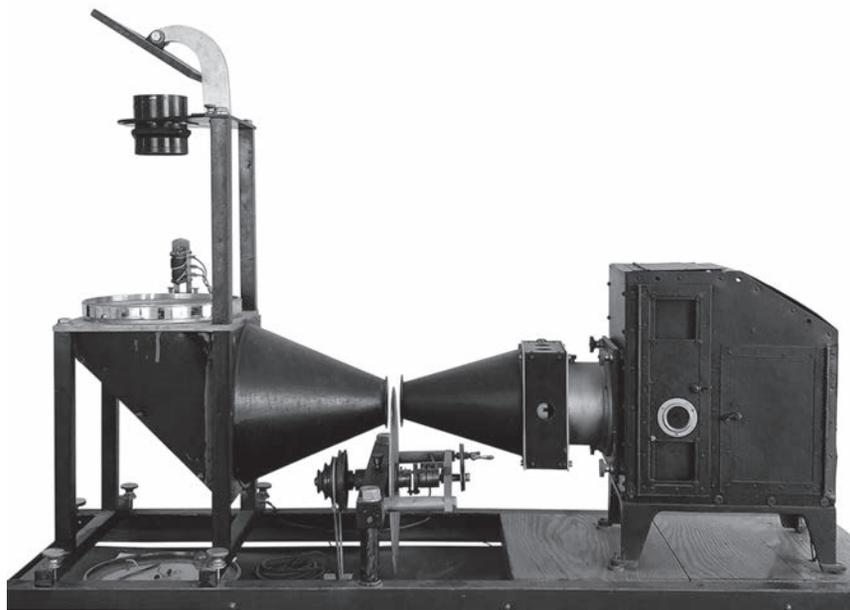


Рис. 6. Волновая машина конструкции П.Н. Лебедева, сохранившаяся на физическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова (фото А.А. Якуты). Справа — дуговой фонарь; в центре — механический стробоскоп, слева — оптическая система для наблюдения дифракционных картин.

тельством электромагнитной природы рентгеновских лучей колебалась до 1912 г.

Аналогично обстояло дело с представлением об атомно-кристаллической структуре вещества. Хотя элементарные основы структурной кристаллографии были заложены еще в XVII веке И. Кеплером [17], лишь в 1824 г. Людвиг Август Зеебер предположил, что атомы в кристаллах расположены в центрах определенных геометрических тел [18], а Е.С. Федоров и независимо А. Шенфлис в 1891 г. завершили решение математической проблемы пространственной решетки, установив все возможные пространственные группы симметрии. Долгое время эти исследования не оказывали никакого влияния на физику, поскольку гипотеза пространственной решетки не обосновывалась какими-либо физическими явлениями. Среди немногих физиков, которые вообще интересовались учением о кристаллах, некоторые защищали противоположное представление о том, что в кристаллах, как во всяком веществе, центры тяжести молекул распределены беспорядочно, а анизотропия порождается исключительно параллельной ориентацией привилегированных направлений молекул. В минералогии также мало занимались этой гипотезой. Только П. Грот и Г.В. Вульф придерживались гипотезы пространственной решетки. Окончательно она победила лишь в 1912 г. благодаря опыту Лауэ—Фридриха—Книппинга.

Таким образом, общий уровень развития физической науки в 1896 г. не способствовал публи-

кации оригинальных результатов рентгеновских исследований П.Н. Лебедева. Только в 1904 г. он решил вернуться к исследованиям физики X -лучей. Однако и эта попытка оказалась неудачной — в апреле—мае 1904 г. П.Н. Лебедев серьезно заболел и уехал на лечение за границу.

К 1910 г. в среде физиков укрепились представления как о тождественности природы видимого света и X -лучей, так и о наличии атомно-кристаллической структуры у металлов. Одновременно с этим у П.Н. Лебедева, по-видимому, окончательно сформировалось мнение о дифракционном происхождении “дырковых фотографий”. Для доказательства этого он взялся за подробное исследование явления дифракции волн различной физической природы на пространственных решетках. В.К. Аркадьев, ученик П.Н. Лебедева, исследовал дифракцию “по Френелю”, а сам П.Н. Лебедев сосредоточился на дифракции “по Фраунгоферу”. Для этого им была сконструирована стробоскопическая “волновая машина” (рис. 6), смонтированная Е.В. Богословским при активном участии И.Ф. Усагина [19, 20].

Изучая дифракцию на двумерной решетке капиллярных волн, распространяющихся вдоль поверхности жидкости, П.Н. Лебедев определил путь решения поставленной задачи — ему удалось получить дифракционные картины, чрезвычайно похожие на “дырковые фотографии”. Ключевым этапом экспериментов должно было стать исследование дифракции электромагнитных волн на трехмерной макроскопической модели диэлек-

трического кристалла, изготовленной из регулярно расположенных маленьких бусинок (данные опыты, изначально порученные В.И. Романову, успешно завершил Н.А. Капцов в 1922 г.). Однако этим планам не суждено было осуществиться.

В конце 1910—начале 1911 гг. в Москве прошли массовые студенческие выступления. На них последовала резкая реакция министра народного просвещения Л.А. Кассо, который своим циркуляром запретил на неопределенный период все студенческие собрания (исключая научные) в университетах. Этим циркуляром и некоторыми другими правительственными постановлениями предусматривалось возложение на университетское руководство “всей тяжести ответственности” за возможные беспорядки в университетах. Вскоре ректор Московского университета А.А. Мануйлов был вынужден подать прошение об отставке с ректорского поста, в ответ на которое Л.А. Кассо вовсе уволил его из университета.

В знак протеста вслед за ректором подали прошения об отставке и ушли из университета В.И. Вернадский, Н.А. Умов, К.А. Тимирязев, П.Н. Лебедев, А.А. Эйхенвальд, П.П. Лазарев, Г.В. Вульф и многие другие знаменитые профессора и известные приват-доценты (в итоге университет покинули около 130 преподавателей). “Эта акция ... вообще обескровила университет, а для университетской физики была губительной” [21]. В штате остались всего два профессора физики — А.П. Соколов и Б.В. Станкевич, но они в отличие от П.Н. Лебедева не смогли привлечь студентов к активным занятиям наукой — по физике в те годы в университете специализировалось всего 3–4 человека. Результатом этого стало практически полное прекращение активной научно-исследовательской деятельности в Физическом институте Московского университета.

Перестал функционировать, потеряв право на легальное существование, и знаменитый в среде российских физиков научный коллоквиум П.Н. Лебедева. Взамен его было организовано Московское физическое общество, первым председателем которого стал П.Н. Лебедев, а в состав Совета вошли Г.В. Вульф, А.А. Эйхенвальд и другие. Московские физики планировали постепенно вновь развернуть свои исследования, широко привлекая для этого частные пожертвования, но 1(14) марта 1912 г. П.Н. Лебедев скончался, так фактически и не сумев продолжить свою научную деятельность.

Как отмечалось, П.Н. Лебедев в последние годы своей жизни предпринимал активные попытки заинтересовать своих учеников и сотрудников проблемой физики X-лучей и изучением дифракционных эффектов, возникающих при облучении пространственных решеток. Более

того, им была разработана и последовательно реализовывалась программа научных исследований, конечной целью которых являлось получение надежных экспериментальных доказательств дифракционного происхождения “дырковых фотографий”. Без таких доказательств П.Н. Лебедев, известный высокой требовательностью к результатам собственных научных исследований, не мог опубликовать указанные фотографии.

Вне всякого сомнения, Г.В. Вульф был хорошо знаком с этими исследованиями. Действительно, он пришел в Московский университет в 1907 г. и сразу включился в научно-общественную жизнь, став активным участником “лебедевских” коллоквиумов, на которых сделал несколько докладов по кристаллооптике и росту кристаллов. Именно в период работы в Московском университете у Г.В. Вульфа стал зарождаться интерес к интерференции и дифракции рентгеновских лучей в кристаллах. Н.Е. Успенский, начавший в 1909 г. работать в лаборатории П.Н. Лебедева, под влиянием научных идей своего учителя также заинтересовался этой проблематикой. Поэтому не будет преувеличением считать П.Н. Лебедева вдохновителем пионерских научных работ Г.В. Вульфа и Н.Е. Успенского в данной области.

Таким образом, историю начала отечественных рентгеновских структурных исследований можно начинать вести с экспериментов П.Н. Лебедева, осуществленных в декабре 1896 г. в Московском университете.

В заключение авторы считают своим долгом отметить, что обратили внимание на данный эпизод ранней истории отечественного рентгеноструктурного анализа по рекомендации заведующего кафедрой физики твердого тела физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Заслуженного профессора Московского университета А.С. Илюшина (1943–2021), проявлявшего большой интерес к вопросам становления и развития данного научного направления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Friedrich W., Knipping P., Laue M.* // Sitzungsberichte der Kgl. Bayer. Akad. der Wiss. 1912. S. 303.
2. *Сонин А.С.* Георгий Викторович Вульф, 1863–1925. М.: Наука, 2001. 272 с.
3. *Успенский Н.Е.* // Физика. 1913. № 1. С. 3.
4. *Урусов В.С.* // Природа. 2012. № 1. С. 96.
5. *Wulff G.* // Z. Kryst. 1913. В. 52. S. 65.
6. *Wulff G.* // Phys. Z. 1913. В. 14. S. 217.
7. *Вернадский В.И.* Избранные труды. Кристаллография. М.: Наука, 1988. 342 с.

8. *Wulff G., Uspensky N.* // *Phys. Z.* 1913. В. 14. Н. 16. S. 783.
9. *Wulff G., Uspensky N.* // *Ibid.* 1913. S. 785.
10. *Томас В. К.* // *Успехи физ. наук.* 1966. Т. 90. Вып. 3. С. 541.
11. *Березанская В.М., Лукичёв М.А., Шаульская Н.М.* Петр Николаевич Лебедев. К 150-летию со дня рождения. М.: Изд-во “РМП”, 2016. 192 с.
12. *Сердюков А.Р.* Петр Николаевич Лебедев. М.: Наука, 1978. 320 с.
13. СПФ АРАН, ф. 293, оп. 1, д. 90, с. 216.
14. СПФ АРАН, ф. 293, оп. 1, д. 147, лл. 5, 6.
15. *Рентген В.К.* О новом роде лучей. М.; Л.: ГТТИ, 1933. 114 с.
16. *Лебедев П.Н.* Собрание сочинений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 436 с.
17. *Кеплер И.* О шестиугольных снежинках. М.: Наука, 1982. 192 с.
18. *Лауэ М.* История физики. М.: ГИТТЛ, 1956. 230 с.
19. *Лебедев П.Н., Усагин И.Ф.* // *Успехи физ. наук.* 1953. Т. 49. Вып. 3. С. 469.
20. Лекционные демонстрации по физике / Под ред. Ивероновой В.И. М.: Наука, 1972. 640 с.
21. *Фейнберг Е.Л.* Эпоха и личность. Физики. Очерки и воспоминания. М.: Физматлит, 2003. 416 с.