

## КОРОТКИЙ ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД З ДИФРАКЦІЇ X-ПРОМЕНІВ

Розглядається історія розвитку уявлень про природу X-променів і описані перші експериментальні кроки по використанню X-променів, які лягли в основу сучасних методів дослідження кристалічних структур.

The history of ideas development about X-ray nature is considered and early experimental studies on application of X-rays, provided foundation for modern research methods of crystal structure, are described.

Кінець дев'ятнадцятого і початок двадцятого століть були надзвичайно щедрими на фундаментальні відкриття у фізиці, які відіграли важливу роль у створенні основ сучасної науки і технології. Тоді ж проводились інтенсивні дослідження явищ, що виникають при проходженні електричних розрядів через газу. Ще на початку XIX століття М.Фарадей звернув увагу на різноманітні форми розряду в скляних трубках з пониженим атмосферним тиском [1]. Особливий інтерес викликало зелене флуоресцентне світіння скляних трубок у місцях бомбардування їх катодними променями, яке спостерігалось уперше Плюккером у 1859 р. Це явище досліджувалось майже одночасно в багатьох країнах: В.Гітторфом (1869 р.), Е.Гольдштейном (1876 р.) в Німеччині; І.Пулюєм (1877 р.) в Австрії; В.Круксом (1879 р.) в Англії та іншими вченими [1-7]. Дослідження фізичних процесів, що відбуваються в газорозрядних трубках, відіграли важливу роль у встановленні внутрішньої будови атомів. Особливо вагомий внесок належить І.Пулюю, який спростував гіпотезу В.Крукса про самовільний розпад молекул і атомів у розріджених газах і появи так званого четвертого агрегатного стану речовини і уявлення В.Гітторфа, Е.Гольдштейна і Ленарда про те, що катодні промені є своєрідними електро-магнітними хвилями. У працях І.Пулюя [6,7] аргументовано доведено, що катодні промені - негативно заряджені частинки, які рухаються прямолінійно з катода до анода; дія магнітного поля на них аналогічна дії на елементарні струми, тобто окремі заряджені частинки. Фундаментальні дослідження І.Пулюя, Д.Пер-

рена і Д.Д.Томсона (1869-1897 рр.) дозволили визначити заряд, масу і швидкість катодних променів, а узагальнення результатів своїх досліджень та інших авторів привели Д.Д.Томсона до відкриття в 1897 р. електрона [1-7].

Навряд чи хто-небудь у той час міг передбачити всю вагомість цього відкриття і його значення для встановлення будови атомів, розвитку електронної теорії речовин і створення в майбутньому електронних галузей промисловості.

У грудні 1895 р., за два роки до відкриття електрону В.К.Рентген опублікував повідомлення [8], в якому описав спостереження ним нового типу променів, названих ним X-променями. Вони випромінювались з місць зеленого світіння розрядних скляних трубок і викликали флуоресценцію екрана, виготовленого із синеродистого барію. Дві фундаментальні праці І.Пулюя, в яких дано вичерпне пояснення причин виникнення та властивості X-променів, опубліковані майже одночасно в лютому та березні 1896 року [9,10]. В Німеччині та Росії ці промені дістали назву рентгенівських, в інших країнах залишилась назва, яку дав їм В.К.Рентген - X-промені.

Відкриття X-променів та можливість їх широкого застосування у медицині і техніці справили величезне враження, що привело до інтенсивних досліджень їх природи і властивостей.

У Кембріджі Д.Д.Томсон і Е.Резерфорд, у Петербурзі П.Н.Лебедев, у Парижі А.Пуанкаре [1-3,11] та багато інших відомих учених, не тільки підтвердили експериментально, а і значно розширили інформацію про властивості X-променів.

А.Пуанкаре висловив гіпотезу, що виникнення  $X$ -променів пов'язане з явищем флуоресценції, а катодні промені не є наслідком їх появи. Тобто будь-які флуоресцентні речовини повинні випромінювати і  $X$ -промені. А.Беккерель використав для перевірки гіпотези А.Пуанкаре солі урану. Виявилось, що навіть без флуоресценції солі урану випромінюють невідомі промені і засвічують фотопластинки. Після детальної перевірки було встановлено, що він спостерігав не  $X$ -промені.

Гіпотеза А.Пуанкаре не підтвердилась. Проте вже в лютому 1896 р. майже випадково відкрито явище радіоактивності. Радіоактивне випромінювання було назване спочатку "урановими променями" або "променями Беккереля" [11]. Відкриття  $X$ -променів (1895 р.), радіоактивного випромінювання (1896 р.) й електронів (1897 р.) лягли в основу створення атомної та ядерної фізики. Ці три фундаментальних відкриття пов'язані, як здається на перший погляд, вузьким інтересом науковців до вивчення яскравих барвистих явищ у розрядних трубках, використовуються тепер з великим успіхом у сучасній технології.

Перші дослідження властивостей  $X$ -променів показали, що вони засвічують фотопластинки і викликають флуоресцентне свічення деяких солей, іонізують гази, проникають через непрозорі речовини, розповсюджуються прямолінійно і майже не заломлюються. В 1905 р. Ч.Борклар показав, що первинні  $X$ -промені є частково поляризованими. Розглядаючи в 1908 р. розсіяння  $X$ -променів тяжкими елементами Cu, Fe, Ag, Pt він вперше виявив, що вторинні розсіяні промені складаються з  $K$ - і  $L$ -спектрів характеристичного випромінювання [1, 2].

Незважаючи на те, що в 1890 р. Е.С.Федоровим і пізніше А.М.Шенфлісом [12] завершено виведення 230 просторових груп симетрії і встановлено, що атоми в кристалах утворюють правильну систему точок, перші дослідження дифракції  $X$ -променів були здійснені на звичайних оптичних щілинах. У 1908 р. німецькі вчені В.Вольтер і Р.Поль отримали дифракційну картину від вузької клиноподібної щілини, широкий кінець якої мав усього декілька мікрон [1,2]. Розшифрувати дифракційну картину вони не змогли. Тільки в 1912 році (до експерименту В.Фрідріха, Р.Кніпінга і М.Лауе) А.Зоммерфельд з допомогою мікрофотометра заміряв періоди дифракції й оцінив, що довжина хвилі  $X$ -променів складає всього  $0,4 \cdot 10^{-8}$  см. Отже, на кафедрі

професора А.Зоммерфельда в Мюнхені, де доцентом працював М.Лауе, природно виникла ідея про дифракцію  $X$ -променів на просторових кристалічних ґратках [1,2]. В тому ж 1912 р. здійснений експеримент Ф.Фрідріха, Р.Кніпінга і М.Лауе [13]. Невдало вибраний низькосиметричний кристал мідного купоросу та суцільний спектр випромінювання в експерименті М.Лауе не дав можливості на той час розшифрувати дифракційну картину і встановити структуру кристала. Але електромагнітна природа  $X$ -променів була встановлена.

Тоді ж були розпочаті дослідження дифракції  $X$ -променів в Англії В.Г.Брегом і В.Л.Брегом з використанням для реєстрації променів іонізаційних камер та Г.Мозлі і Дарвіном, які застосували фотографічний метод реєстрації. В Росії аналогічні експерименти проводились Ю.В.Вульфом. Було встановлено, що дифракція  $X$ -променів відбувається на регулярно розміщених атомних центрах, які розташовані в сімействах паралельних атомних площин. Експерименти ставились на високосиметричних лужногалоїдних кристалах KCl, NaCl, KBr та ін. Експериментальні та теоретичні роботи М.Лауе, В.Г.Брега, В.Л.Брега та Ю.В.Вульфа (1912-1913 рр.) дали можливість встановити закони дифракції  $X$ -променів. А вдало вибрана модель кристалів дозволила В.Г.Брегу та В.Л.Брегу розшифрувати дифракційну картину і вперше визначити структуру кристалів. У 1913 р. опублікована робота Г.Мозлі, в якій був установлений зв'язок між довжинами хвиль характеристичного випромінювання і порядковим номером елементів у періодичній системі. Так виникли два нових напрямки в науці: структурний та спектральний аналізи у короткохвильовому діапазоні довжин хвиль  $X$ -променів. Структурний аналіз дає можливість на основі дифракційних візерунків (картин) отримати вичерпні відомості про будову кристалів, аморфних речовин, рідин, газів, біологічних об'єктів і просторового розташування атомів. Спектральний аналіз дозволяє отримати найбільш достовірні дані про внутрішню будову електронних оболонок атомів.

Важливість перелічених відкриттів неможливо переоцінити. Як писав пізніше Д.Слетер: "поступово все більше усвідомлюється, що рентгенографічні дані, отримані з їх допомогою, складають суттєву частину фізики твердого тіла" [14].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кей Г. Рентгеновские лучи: Перевод с англ.- Москва-Ленинград, 1928.
2. Лонсдейл К. Кристаллы и рентгеновские лучи: Пер. с англ. - М.: ИЛ., 1952.
3. Рентгеновские лучи: Пер. с нем. и англ./ Под ред. М. А. Блохина. - М.: ИЛ., 1960.
4. Пулюй І. Збірник праць. / Під ред. В.А.Шендеровського. - Київ: Рада, 1996.
5. Puluj I. Ein Radiometer // Ibid. - 1877. - **76**. - S.226-230.
6. Puluj I. Strahlend Elektrodenmaterie // Ibid. I - 1880. - **81**. - S.864-932; II. - 1881. - **83**. - S.402-420; III. - 1881. - **83**. - S.693-708; IV. - 1882. - **85**. - S.871-881.
7. Puluj I. Strahlend Elektrodenmaterie und sogenannte Aggregatzustand.-Wien: Verlag Carl. Generald Sohn, 1883.
8. Röntgen W.C. Über eine neue Art von Strahlen. I. - Sitzungsber: Med.- Phys.- Ges, 1895.
9. Puluj I. Über die Entstehung der Röntgenstrahlen und ihre phonographische Wirkung // Wiener Berichte II Abt. - 1896. - S.228-238.
10. Puluj I. Nachtrag zur Abhanglung "Über die Entstehung der Röntgenstrahlen und ihre photographische Wirkung" // Ibid. - 1896. - **105**. - S.243-245.
11. Кудрявцев П.С. Курс истории физики. - М.: Просвещение, 1982.
12. Шафрановский И.И. История кристаллографии. XIX век. - Ленинград: Наука, 1980.
13. Fridrich W., Knipping P., Laue M. Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen // Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Math. Phys.Klass., 1912. - S.303-322.
14. Слэтер Д. Диэлектрики, полупроводники, металлы. - М.: Мир, 1969.
15. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. - М.: ГИГГЛ, 1957.
16. Шпольский Э.В. Атомная физика. тт. I, II - М.: Гостехиздат, 1958.
17. Боровский И.Б. Физические основы рентгено-спектральных исследований. - М.: МГУ, 1956.
18. Пінскер З.Г. Рентгеновская кристаллооптика. - М.: Наука, 1982.
19. Гинье А. Рентгенография кристаллов. - М.: 1961.
20. Кушта Г.П. Рентгенографія кристалів. - Львів, 1959.
21. Лисойван В.И., Громилов С.А. Аспекты точности в дифрактометрии поликристаллов. - Новосибирск: Наука, 1989.