



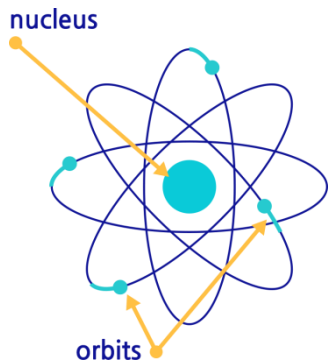
우주와 생명 제 9강

보어 모델

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

수소의 보어 모델: 원자 구조의 한 패러다임

The Bohr Model of Hydrogen: A Paradigm for the Structure of Atoms



리그덴의 저서 “수소”에서 발췌
Excerpts from “Hydrogen”
by Rigden



닐스 보어
Niels Bohr
(1885-1962)

9-1 톰슨의 전자(Thomson's Electron)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

닐스 보어가 1911년에 박사학위를 받았을 때 물리학의 세계는 가능성을 잉태하고 있었다.

When Niels Bohr received his doctorate in 1911, the world of physics was pregnant with potential.

9-1 톰슨의 전자(Thomson's Electron)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

보어 등이 활약할 장을 마련한 발견을 이룬 사람 중 하나는 1884년에 28세의 나이로 맥스웰, 레일리 경에 이어 케임브리지 대학교의 실험물리학 캐번디시 교수가 된 J.J 톰슨이었다.

One of those whose discoveries prepared the field for Bohr and others was J.J. Thomson (1856–1940), who in 1884, at the age of twenty-eight, became Cavendish Professor of Experimental Physics at the University of Cambridge, following in the steps of James Clerk Maxwell (1831–1879) and Lord Rayleigh (1842–1919).



<출처>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/James_Clerk_Maxwell.png



<출처>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/St_rutt.jpg



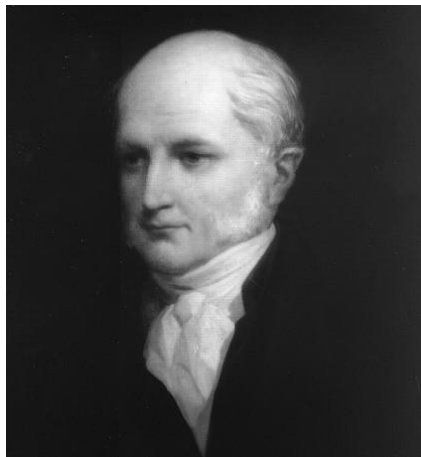
<출처>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c1/J.J_Thomson.jpg/205px-J.J_Thomson.jpg

9-1 톰슨의 전자(Thomson's Electron)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

톰슨이 음전하를 띠는 전자를 발견하면서 원자가 어떤 공통적인 입자로 이루어졌다는 프라우트의 생각이 새롭게 중요성을 가지게 되었다.



<출처>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/52/Prout_William_painting.jpg/220px-Prout_William_painting.jpg

프라우트
William Prout
1785-1850

With Thomson's discovery of the negatively charged electron, ... Prout's idea that atoms were built up from some common entity took on a new significance.

9-1 톰슨의 전자(Thomson's Electron)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

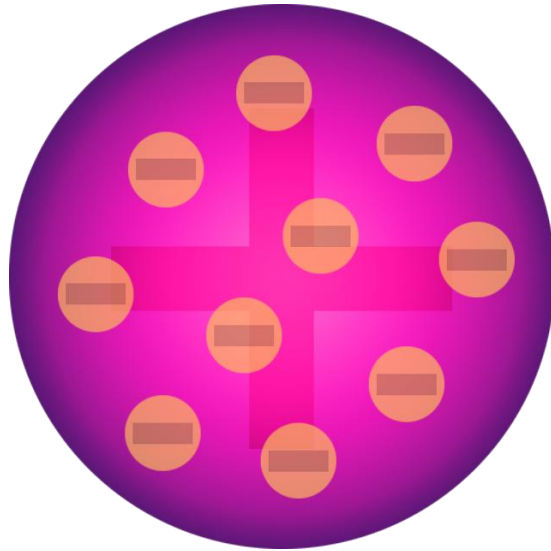
**프라우트에게 이 공통적인 입자는 수소였지만,
1897년 직후에는 이것은 전자가 되었다.**

For Prout, the common entity was hydrogen; in the years immediately following 1897, the common entity became the electron.

9-1 톰슨의 전자(Thomson's Electron)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

1903년에 톰슨은 수소에는 약 천 개의 전자가 들어있을 것이라고 주장했다. 1906년에 톰슨은 원자 모델에 관해서 가장 중요한 기여를 했다.



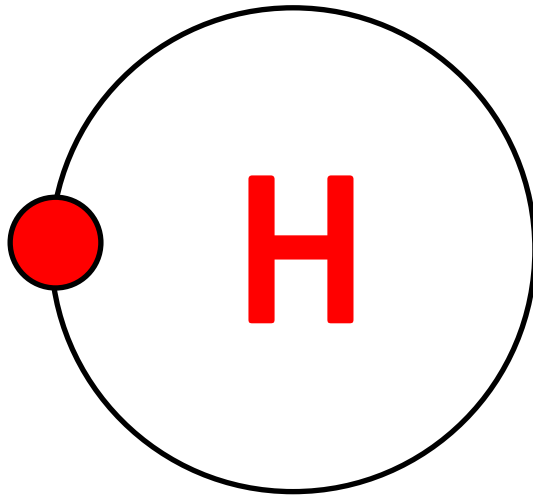
In 1903 J.J. Thomson asserted that hydrogen “contains about a thousand electrons.”

In 1906, Thomson made perhaps his greatest contribution to the pursuit of an atomic model.

9-1 톰슨의 전자(Thomson's Electron)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

몇 가지의 논리를
동원해서 톰슨은 원자에
들어있는 전자의 수는
대략적으로 원자량과
같다고 결론 내렸다.
그렇다면 수소 원자에는
전자가 한 개 밖에 없을
것이다.



With several lines of reasoning, Thomson concluded that the number of electrons in an atom was approximately equal to an atom's atomic weight. On this basis, there would be only one electron in a hydrogen atom.

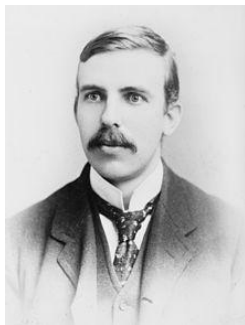
9-2 러더포드의 원자핵(Rutherford's Nucleus)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

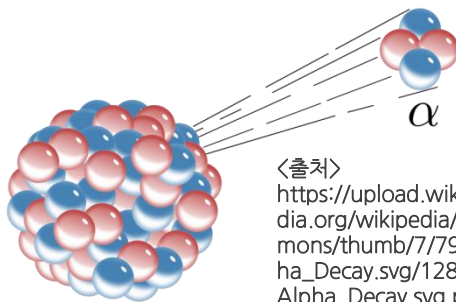
러더포드는 알파입자를
좋아했다.

1898년에 그것을
발견한 것은 그였으니까
말이다.

1908년에 그는
알파입자가 +2의 전하를
가지는 것을 밝혔다.



<출처>
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/de/Ernest_Rutherford_1908.jpg



<출처>
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/79/Alpha_Decay.svg/1280px-Alpha_Decay.svg.png

Rutherford liked alpha particles.

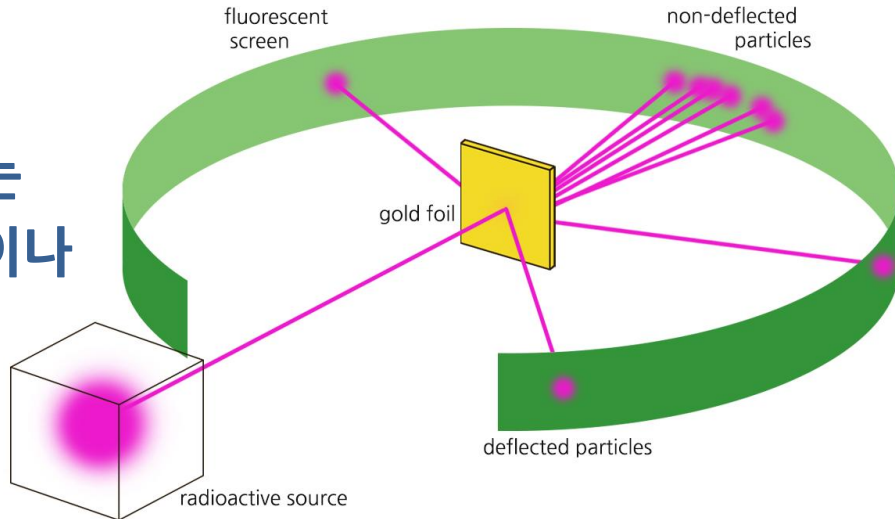
After all, he had discovered them in 1898.

In 1908 he established that the alpha particle carried a double positive charge.

9-2 러더포드의 원자핵(Rutherford's Nucleus)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

러더포드와 그의
조수였던 한스
가이거는
알파입자의 가는
빔을 알루미늄이나
금박을 향해
쏘았다.



Rutherford and his assistant Hans Geiger directed a well-defined beam of alpha particles at thin foils of aluminum and gold.

9-2 러더포드의 원자핵(Rutherford's Nucleus)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

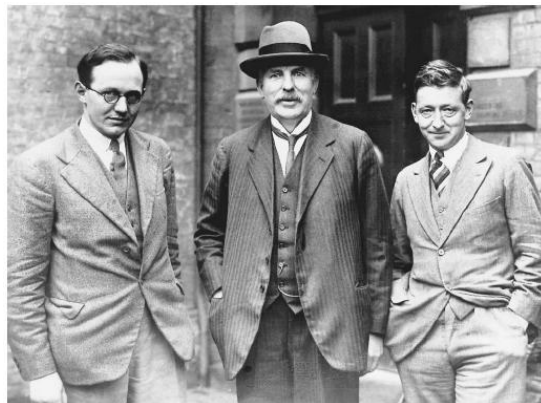
알파입자는 대부분 얇은 막을 그대로 통과했지만, 일부는 특히 금박의 경우에는 작은 각도로 휘어졌다.

Most of the alpha particles passed straight through the foil, but some of them were scattered through a small angle, especially from the foils composed of gold atoms.

9-2 러더포드의 원자핵(Rutherford's Nucleus)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

러더포드는 가이거를 도와주던 학부생인 마스덴에게 제안을 했다. 러더포드의 제안은 “큰 각도로 휘어지는 알파입자는 없는지 조사해보지 그래” 식이었다.



<출처>

http://www.chemistryexplained.com/images/chfa_04_img0818.jpg

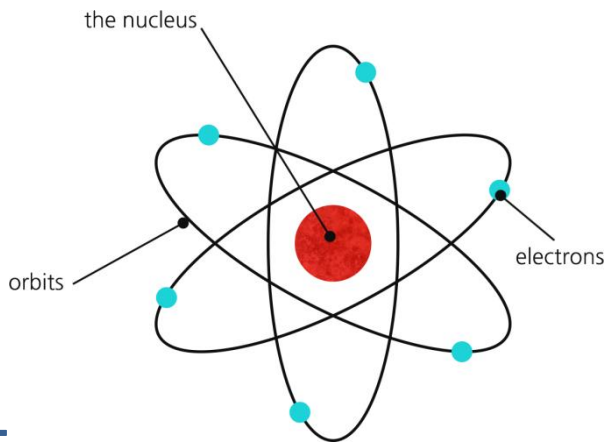
Rutherford made a suggestion to Ernest Marsden, an undergraduate who was helping Geiger. Rutherford's suggestion went something like this: “Why don't you see if some alpha particles are scattered at large angles?”

9-2 러더포드의 원자핵(Rutherford's Nucleus)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

1911년 3월에 이
새로운 원자 모델이
과학계에 발표되었다.

그 후 1912년 10월에
러더포드는 처음으로
핵이라는 말을 사용했다.



In March 1911, this new model of the atom was conveyed to the community of science.

Later, in October 1912, Rutherford used the term nucleus for the first time.

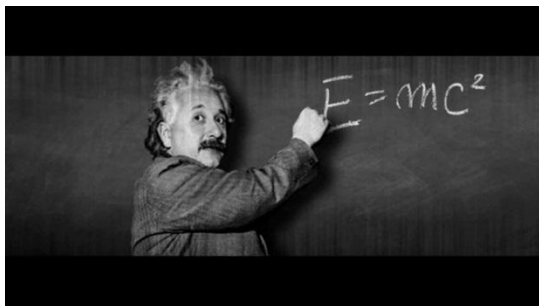
9-3 보어의 원자(Bohr's Atom)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

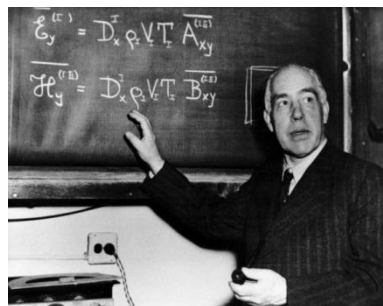
어느 누구보다도, 어느 다른
물리학자보다도 보어는 양자 혁명을
이끈 정신이었다.

More than any other person, more
than any other physicist, Bohr was
the guiding spirit of the quantum
revolution.

<출처>
<http://www.umuseke.rw/wp-content/uploads/2015/04/EMC2-Facebook-Cover.jpg>



아인슈타인
1921년 노벨 물리학상



보어
1922년 노벨 물리학상

<출처>
<http://98a4980578083abe0fc6-26cdb33025b4deaf9c0a6e9a3953d227.r43.cf2.rackcdn.com/26C342D0-389E-45CF-B45A-FF88C2995CDD.jpg>

9-3 보어의 원자(Bohr's Atom)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

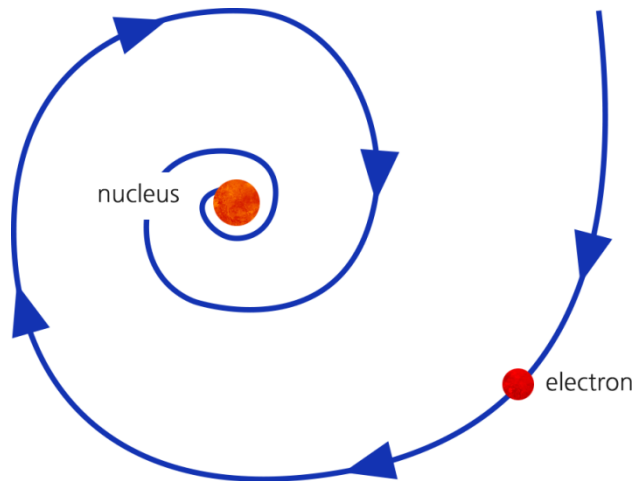
대부분 물리학자들은 20세기 물리학에서 보어보다 더 크게 기여한 사람은 아인슈타인 밖에 없다고 인정한다.

Bohr's contribution to twentieth-century physics is acknowledged by most physicists as second only to Albert Einstein's.

9-3 보어의 원자(Bohr's Atom)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

러더포드를 따라서
보어는 수소 원자를
양전하를 가진 아주
작은 핵과 달한
궤도들을 따라 그
주위를 도는 한 개의
전자로 묘사했다.



Following Rutherford, Bohr depicted the hydrogen atom to be “a positively charged nucleus of very small dimensions and an electron describing closed orbits around it.”

9-3 보어의 원자(Bohr's Atom)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

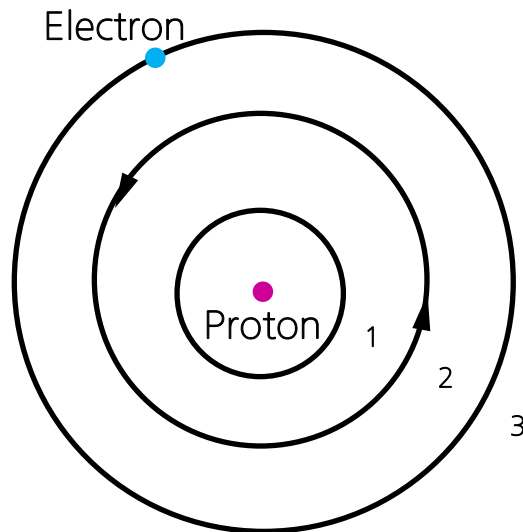
보어는 “안정한 궤도들”이라는 표현을 썼는데,
그는 이 궤도에서는 에너지 복사가 없다고 주장해서 19세기
전자기학에서 확립된 핵심 원리를 위반했다.

Bohr used the term “stationary orbits” in which, he asserted,
“there is no energy radiation,” thereby violating the established
tenets of nineteenth-century electromagnetism.

9-3 보어의 원자(Bohr's Atom)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

보어는 에너지에 양자 조건을 부여해서 어떤 특정한 에너지들만이 허용된다고 주장했다. 수소 원자의 에너지가 크면 궤도도 크다.



Bohr placed a quantum condition on the energy; namely, he asserted that only certain energies are permitted.

The larger the energy state of the hydrogen atom, the bigger the orbit.

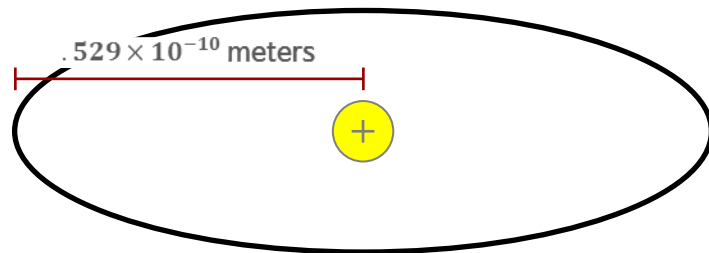
9-3 보어의 원자(Bohr's Atom)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

그의 모델로부터 보어는 여러 궤도의 반지름을 계산할 수 있었고, 가장 작은 궤도의 반지름으로부터 수소 원자의 지름, 그러니까 크기를 계산할 수 있었다. 보어가 그의 모델로부터 계산한 수소 원자의 크기는 1.1 옹스트롬이었다.

From his model, Bohr was able to calculate the radii of the various orbits and thus, from the radius of the smallest orbit, he could calculate the diameter of the hydrogen atom and hence, its size.

The dimension of the hydrogen atom, as Bohr calculated from his model, was 1.1 Å (1.1×10^{-8} cm).



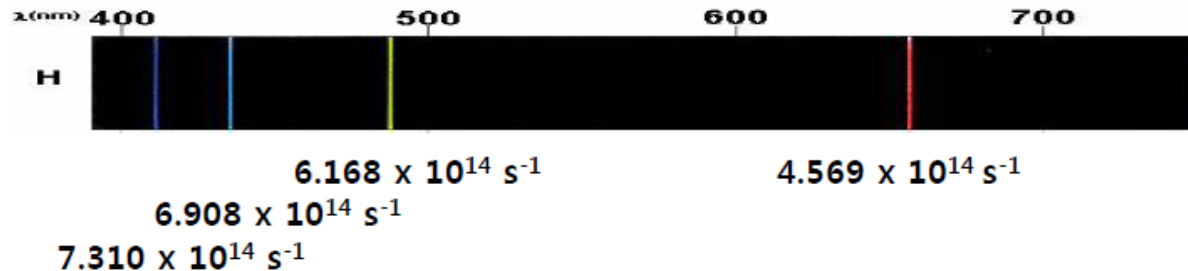
측정값 약 1 옹스트롬

9-4 수소의 선스펙트럼 (Hydrogen Line Spectrum)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

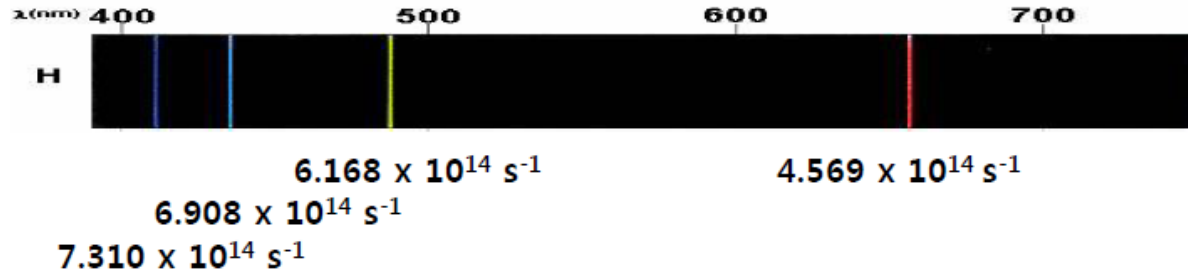
보어는 또 하나의 기본적인 아이디어를 수소 원자에 도입했는데 이 놀라운 아이디어를 사용해서 그는 원자의 스펙트럼을 설명하는 메커니즘을 제안했다.

Bohr brought one more basic idea to his treatment of the hydrogen atom, an amazing and a portentous idea: he proposed a mechanism to account for the spectrum of an atom.



9-4 수소의 선스펙트럼 (Hydrogen Line Spectrum)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY



<출처>
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Balmer.jpeg>

1885년 - 발머(Balmer)

빨강색 선: $\nu_3 = 3.290 \times 10^{15} (1/2^2 - 1/3^2) \text{ s}^{-1}$

연두색 선: $\nu_4 = 3.290 \times 10^{15} (1/2^2 - 1/4^2) \text{ s}^{-1}$

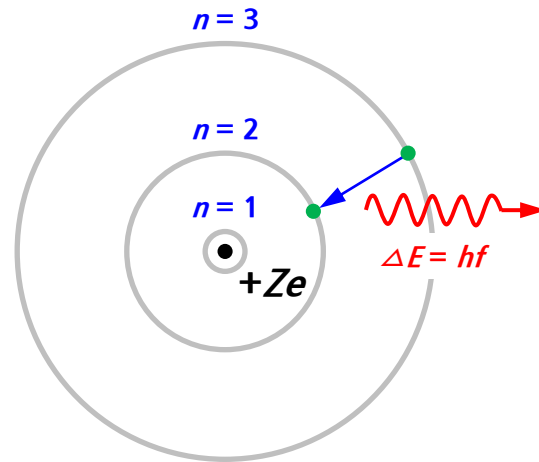
하늘색 선: $\nu_5 = 3.290 \times 10^{15} (1/2^2 - 1/5^2) \text{ s}^{-1}$

파랑색 선: $\nu_6 = 3.290 \times 10^{15} (1/2^2 - 1/6^2) \text{ s}^{-1}$

9-4 수소의 선스펙트럼 (Hydrogen Line Spectrum)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

막스 플랑크의 1900년 연구에 발맞추어 보어는 수소 원자에서 허용되는 두 상태의 에너지 차이를 플랑크 상수와 빛의 진동수로 나타냈다.



$$E_3 - E_2 = hf$$

In keeping with the 1900 work of Max Planck, Bohr expressed the energy difference between two of his allowed states in the hydrogen atom in terms of Planck's constant and the frequency of light.

9-4 수소의 선스펙트럼 (Hydrogen Line Spectrum)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

보어는 수소 원자에서 허용된 상태의 특정한 에너지를 표현하는 명확한 식을 썼다.

이 식에서 m 은 전자의 질량, e 는 전자의 전하, h 는 플랑크 상수, 그리고 n 는 정수이다.

$$E_n = -2\pi^2 m e^4 / n^2 h^2$$

Bohr wrote an explicit expression for the specific energies of the allowed states of the hydrogen atom.

where m = mass of the electron,
 e = the electric charge of the electron,
 h = Planck's constant, and n = an integer.



<출처>
<http://www.freewebs.com/kienitz/images/planck.jpg>

플랑크
Max Planck
1918년 노벨 물리학상

9-4 수소의 선스펙트럼 (Hydrogen Line Spectrum)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

이 과정에서 어느 시점에 보어가 발머의 식을 알게 되었고, 그 때 “순간적으로 명확”해졌다. 발머의 식과 그의 (에너지) 표현에서 모두 분모에 n^2 이 들어있는 것이 보어에게 단서가 되었을 것이다.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

At some point during this process, Balmer's formula came to Bohr's attention, and it became “immediately clear.”

The clue for Bohr may well have been the appearance of n^2 in the denominators of both Balmer's formula and his expression.

$$E = -\frac{Z^2 m e^4}{8 n^2 h^2 \epsilon_0^2} = \frac{13.6 Z^2}{n^2} eV$$

9-5 양자 혁명(Quantum Revolution)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

보어 모델 이후에 그의 명성은 엄청나게 높아졌는데 그것은 그의 논문 때문이라기보다는 그가 다른 사람들에게 미친 영향 때문이었다.

After Bohr's model, his reputation grew to enormous proportions not so much as the consequence of the papers he wrote, but as a consequence of the influence he exerted on others.



<출처>
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/Heisenberg,Werner_1926.jpeg



<출처>
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Pauli.jpg>



<출처>
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cf/Dirac_4.jpg/162px-Dirac_4.jpg



9-5 양자 혁명(Quantum Revolution)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

1925-26년 사이에 원자 세계를 새롭게 이해하는
물리학인 양자역학이 태어났다.

빅터 와이스코프의 말에 따르면 물리학의 그 위대한
시기에 “보어와 그의 제자들은 우주의 정신에 접속했다”.

In 1925–26, quantum mechanics, a new physics that
brought understanding to the world of the atom, was
created.

In that great period of physics, wrote Victor Weisskopf,
“Bohr and his men … touched … the nerve of the
universe.”



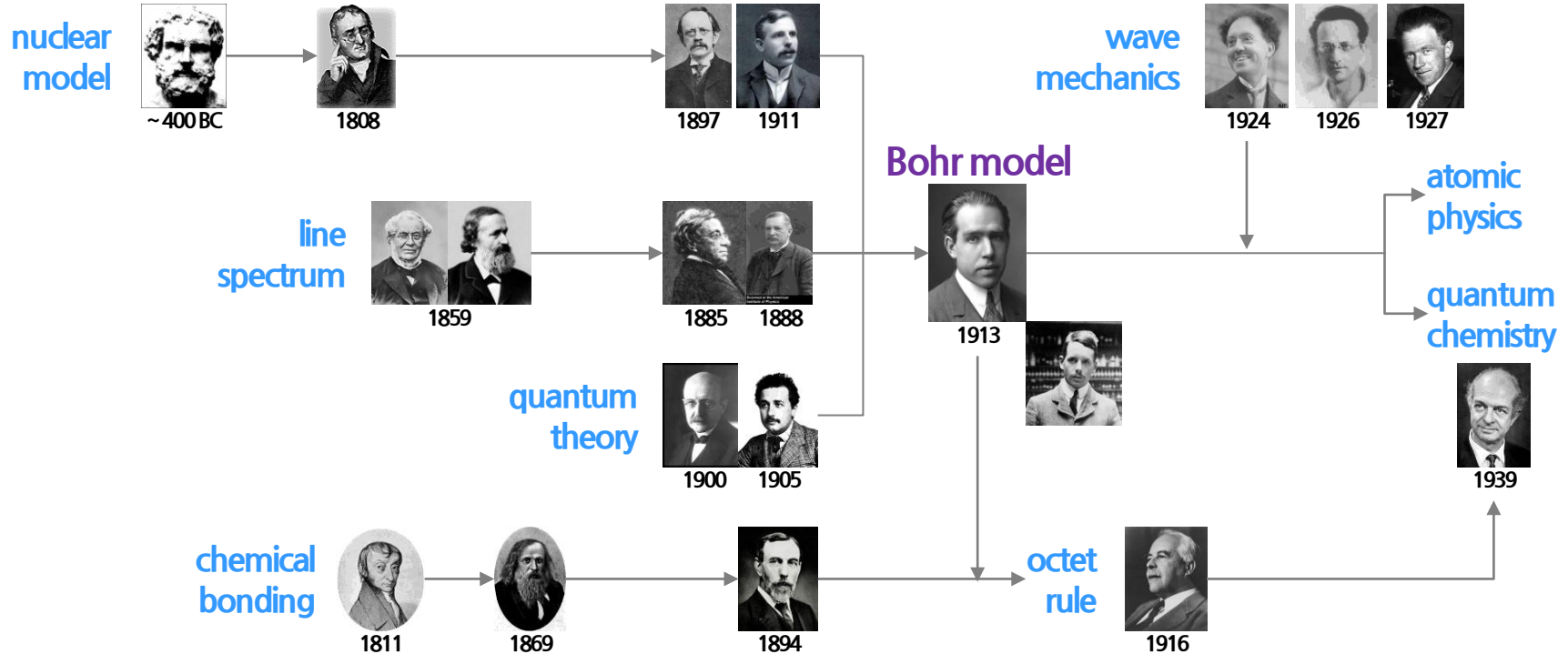
<출처>
[http://blog.lib.umn.edu/itcomm/learningabroad/assets_c/2013/05/IMG_3469\[1\]-thumb-480x360-155493.jpg](http://blog.lib.umn.edu/itcomm/learningabroad/assets_c/2013/05/IMG_3469[1]-thumb-480x360-155493.jpg)



<출처>
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/Heisenbergbohr.jpg>

9-5 양자 혁명(Quantum Revolution)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY



Review

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Helium is doing well
With two electrons in the first shell.
After fluorine comes neon
And after chlorine comes argon
With eight electrons in the second shell.
The rule is called octet
Though for helium it is duet.