

特集／ボーア

ボーア原子模型から百年

江沢 洋

1. ボーアの原子模型

今年、ニールス・ボーアが原子模型を提案してから百年になる。世界の各地で記念の行事が行われている。この模型より以前の物理学の体系を“古典”を冠してよぶことにするが、ボーアが1913年に出した原子模型の論文は、古典物理学が築き上げてきた世界とは別の、新しい原理をもつ世界があることを宣言した画期的なものであった。

その2年前には、E. ラザフォードが原子核を発見し、原子は微小な太陽系だと唱えた。

しかし、たちまち反論された。電子が原子核のまわりを回っているなら、マクスウェルの方程式にしたがって電磁波を出し原子核に墜落する。

ボーアは考えた。原子は安定に存在する。ときに光るが常に光を出し続けるわけではない。これは古典物理と違う世界だ。彼は要請した：

①原子の中での電子の運動はニュートンの運動方程式にしたがうが、定常状態とよぶ一連の特別な運動だけが安定に存在する。

定常状態を選び出す条件として、ボーアは

$$(\text{電子の角運動量の大きさ}) = n\hbar \quad (1.1)$$

$$(n = 1, 2, \dots; \hbar = h/(2\pi))$$

を用いた。 h はプランクの定数である。これを量子条件という。

定常状態にある電子は光を常に出し続けることはない。定常状態にある電子のエネルギーは、 E_1, E_2, \dots のようにトビトビになる。

②原子の中で定常状態 k にある電子は、ときに別

の定常状態 n に跳び移る。そのとき

$$E_n - E_k = h\nu \quad (1.2)$$

できまる振動数 ν の光子を放出する。

ボーアはまず水素原子を扱い、この原子では核を中心に電子が等速円運動をしているとした。量子条件 (1.1) から定常状態の電子のエネルギーは
$$E_n = \frac{m}{2} v_n^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{a_B} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (1.3)$$
 ($n = 1, 2, \dots$) というトビトビの値に限られる。この計算は高校物理の教科書にも載っている。

これを用いて、電子がエネルギー E_k の状態から E_1 の状態に跳び移るとき放出する光の振動数 ν_{k1} を (1.2) によって計算すると、J. バルマーが水素原子の出す光のスペクトルの精密測定から1884年に見出していた式に一致した。

しかし、この一致が得られるようにボーアは量子条件 (1.1) をきめたのではないか！

2. ボーア理論の革命性

ボーア理論を読むと、なんと身勝手な！と、誰でも思う。原子の安定性を物理法則から証明するのではなく、古典物理によれば光を發して潰れてしまうはずの運動を定常状態と称して安定性を要請した。運動は初期条件次第で変わるという古典力学の特徴は否定して、運動方程式の解のなかから定常状態をバルマーの実験に合うように選び出した。

ボーアの用いた (1.2) は10年も前にM. プランクが黒体輻射のスペクトル強度の式を導くのに使っていた。しかし、プランクは (1.2) を調和振