物理定数

単位の変換

物理学では、非常に短い距離や、大きなエネルギーを取り扱う。原子物理、原子核物理での典型的な長さはそれぞれ nm と fm である。それではコンバージョンコンスタント $\hbar c$ について変換を行ってみよう。原子物理での $\hbar c$ の単位は [eV nm]、原子核素粒子物理では [MeV fm] を使用することが多い。ともに [eV] を基本的に使用している。それは研究のため電子、イオンを加速して分析を行うが、加速電圧が粒子の運動エネルギーとなるからである。よって以下の式を使う。

$$1 = \frac{1[\mathrm{eV}]}{1.6 \times 10^{-19}[\mathrm{J}]}$$

基本的に同じものを分子分母に持ってきて分子には変換する先の単位がくるようにする。これをかけて単位変換を行う。

$$\hbar c = 1.055 \times 10^{-34}[\mathrm{Js}] \times 2.998 \times 10^{8}[\mathrm{ms^{-1}}] \times \frac{1[\mathrm{eV}]}{1.602 \times 10^{-19}[\mathrm{J}]} = 1.97 \times 10^{-7}[\mathrm{eVm}] = 197[\mathrm{eVnm}]$$

原子の大きさとやりとりされるエネルギー

まずネオンサインなどは原子からの光の放出であるがこのエネルギーが 2eV 程度であることを示してみよう。光の波長を可視光 (ROYGBIV) のほぼ中心の 600nm とする。

$$E = h\nu = \hbar\omega = \hbar c \times \frac{2\pi}{\lambda} = 197 \times \frac{6.283}{600}[\mathrm{eV}] = 2.06[\mathrm{eV}]$$

光を放出している原子は非常に小さいが、これはドブロイ波が定常波となる量子条件を課して、ボーアが水素原子の大きさを導いたのでボーア半径 r_0 と呼ばれる。これが 0.05nm となることを示す。

$$r_0 = \frac{\hbar c}{m_e c^2 \alpha} = \frac{197 \times 137}{511 \times 10^3}[\mathrm{eV}] = 5.28 \times 10^{-2}[\mathrm{nm}]$$

ここで α は単位のない微細構造定数で、基本的には素電荷の大きさを示すものである。

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \hbar c} \simeq \frac{1}{137}$$

水素原子において原子のエネルギー準位 E_n は主量子数 n を用いて以下のように示されることが、ボーアによって導かれた。(実験的にはバルマーが示していた。)

$$E_n = -\frac{m_e c^2 \alpha^2}{2} \times \frac{1}{n^2} = -\frac{13.6}{n^2}[[\mathrm{eV}]]$$

これによって水素原子の赤い光のエネルギー $E_{H\alpha}$ は以下のように計算される。

$$E_{H\alpha} = 13.6\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)[\mathrm{eV}] = 1.89[\mathrm{eV}]$$

この成功を受け、プランクの式、ドブロイの式を基本としてシュレディンガー方程式が導かれた。また磁場内での発光の準位分裂、磁性の起源の研究から粒子のスピンの存在と、その現象を記述する行列力学が生まれた。スピンが $1/2$ である粒子はフェルミ統計に従い、同じ粒子が原子内で同じ量子数を持てなくなる。例えば電子なら、低いエネルギーの許される軌道に順番に詰まっていくことになる。