

# 13 原子スペクトルの観察と波長の測定

## - リュ - ドベリ定数の測定および原子のエネルギー準位 -

原子の可視領域の線スペクトルを分光計で観察しその波長を求める。水素原子のバルマー系列スペクトルの波長を測定することによって、リュ - ドベリ定数を求める。また、エネルギー準位を求め、水素原子の構造について理解を深める。ヘリウム原子やナトリウム原子の線スペクトルについても、同様に、波長を求めエネルギー準位について考察する。

【使用実験機器】分光計，回折格子，バルマーランプ，[分光器]

### § 1 はじめに

電極を封入したガラス管にいろいろな元素の気体を入れ、圧力を下げて高電圧をかけると放電が起きる。そこから放射される光の波長を分光計を用いて調べると、気体元素特有のとびとびの波長を持っていることがわかる。このとびとびの波長の光を線スペクトルという。例えば、ナトリウムランプの光からは、橙色に輝く二つ線スペクトル ( $D_1$ : 589.592 nm,  $D_2$ : 波長588.995 nm, ここで  $\text{nm} = 10^{-9} \text{m}$ ) が観察される。

水素原子は、可視領域に図1のような線スペクトルがあり、バルマー系列と呼ばれている。波長の長い方から  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ , ... と名づけられ、それらの波長は簡単な一つの式

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, \dots) \quad \dots (1)$$

で表わされる。ここで、 $R$  はリュドベリ定数と呼ばれる定数 ( (3) 式 ) である。 $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  の各波長は、この式で  $n = 3, 4, 5$  と置いたものになっている。

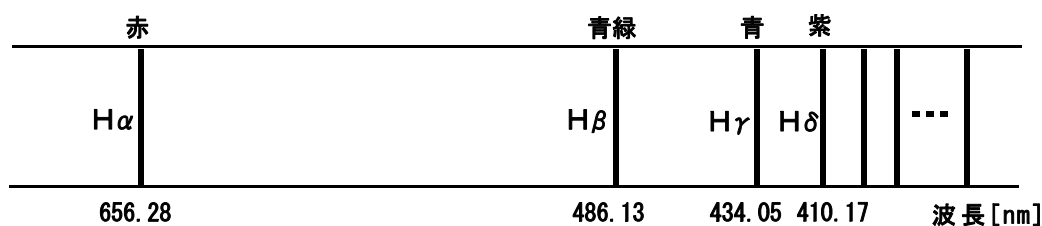


図1 水素原子のバルマー系列スペクトル

水素原子の発光スペクトルの式(1)は、ボーアの原子モデルによって説明することができる。このモデルでは、水素原子のエネルギー準位は

$$E_n = - \frac{R h c}{n^2} \quad (n = 1, 2, \dots) \quad \dots (2)$$

となる。 $R$  はリュドベリ定数であり、

$$R = \frac{m e^4}{8 \pi^2 h^3 c} = 1.09737 \times 10^7 \text{ [m}^{-1}\text{]} \quad \dots (3)$$

である。ここで、 $m$  と  $e$  は電子の質量と電荷、 $h$  はプランク定数、 $c$  は光速、 $\pi$  は真空の誘

電率である。放電によって高いエネルギー準位  $E_n$  に励起された電子が、より低いエネルギー準位  $E_m$  に遷移するとき、そのエネルギー差

$$E = E_n - E_m = R h c \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \dots (4)$$

の光子を出す。この光子の振動数を  $\nu$  とすると、エネルギーは  $h\nu$  であるから、 $\nu = E/h$ 。また、波長  $\lambda$  は、 $\lambda = c/\nu = hc/E$  となる。従って、

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \dots (5)$$

と表せる。ここで、 $m = 1, 2, \dots$ ,  $n = m + 1, m + 2, \dots$  である。バルマー系列のスペクトルについては、電子は  $m = 2$  の定常状態に遷移し、このとき、(5)式は先の(1)式となる。リュードベリ定数を(1)式を用いて波長の実験値から求め、それが理論値(3)に一致すれば、ボアの原子モデルの正当性が確かめられたことになる。

発光スペクトルの観察は、分光器を用いて行うことができる。分光器には波長の値が直読できるように目盛りがついているが、読み取り値はせいぜい3桁程度で、精度を上げて波長を求めるには、分光計を用いる必要がある。

ここでは、分光計を用いて、水素原子のバルマー系列スペクトルを観察し波長を測定する。得られた結果から、リュードベリ定数を求め理論値と比較する。また、水素原子のエネルギー準位を求める。次に、2電子系のヘリウム原子の発光スペクトルの波長測定から、ヘリウム原子のエネルギー準位について調べる。また、ナトリウム原子の橙色のスペクトル線の分離を観察し考察する。

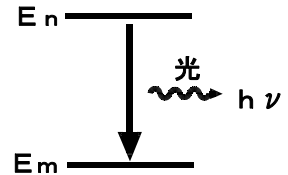


図2 状態間の遷移

## § 2 回折格子による分光と波長の測定

### 1 回折格子と光の分光

両面が平行なガラス板の片面に、平行な溝を多数きざんだもの（1mmあたり500～1200本程度）を回折格子という。溝と溝の間隔を格子定数といい、光の波長の数倍から10倍程度にとられている。回折格子に光をあてると、溝の部分では光が乱反射して不透明となり、溝と溝の間の透明な部分がスリットの役目をするようになる。光が回折格子に入射すると、ホイヘンスの原理により、この多数のスリットが新しい波源となって光の波が広がり、これらが干渉しあって縞模様の回折光が現れる。

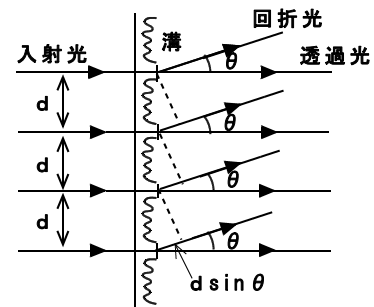


図3 透過型回折格子による光の回折

#### (1) 垂直入射の場合

波長  $\lambda$  の光が回折格子に垂直に入射したとき、角  $\theta$  の方向に回折される光は、隣り合う光とどこでも等しい光路差  $d \sin \theta$  も持つ。回折格子から十分遠方で、これらの光が強め合う条件は、この光路差が波長  $\lambda$  の整数倍のときである。

$$d \sin \theta = m \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \dots (6)$$

$m = 0$  は透過光で、 $m = 1$  のとき1次の回折光、 $m = 2$  のとき2次の回折光、... という。

図4には、白色光が入射した場合、入射光の波長により回折角が異なり、プリズムと同様に、虹の連続スペクトルが観察されることを示す。(図には、1次の回折光のみ光の分散を示した。)

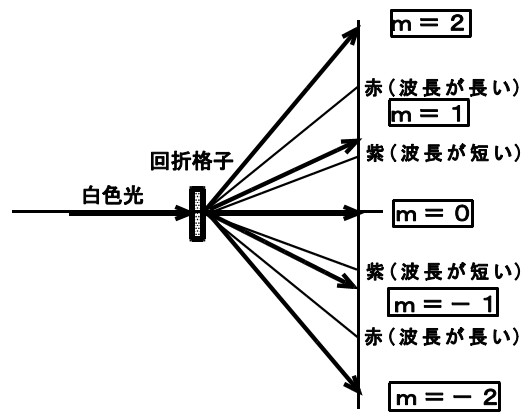


図4 白色光のスペクトル

(2) 斜方入射の場合

光が斜めに入射した場合の回折条件は、回折格子面での入射光の位相のずれを考慮すれば、垂直入射の場合と同様に求めることができる。

図5のように、波長  $\lambda$  の光が入射角  $i$  で入射し、角  $\theta$  の方向に回折したとする。図6は、この様子を模式的に図示したもので、隣り合う2つの光線の光路差は、

$$A_2B_2 - A_1B_1 = d \sin \theta - d \sin i$$

となるから、回折条件は、

$$d(\sin \theta - \sin i) = m \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \dots (7)$$

と表される。ここで、 $m > 0$  に対しては  $\theta > i$ 、 $m < 0$  に対しては  $\theta < i$  であり、また、 $m = 0$  のとき  $\theta = i$  となる。(7)式は、入射角  $i$  を  $i = 0$  とすると、垂直入射の回折条件(6)式を与える。

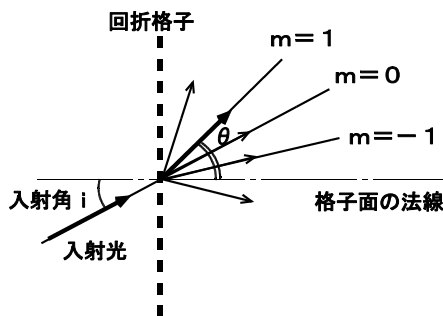


図5 斜方入射の場合(透過型回折格子)

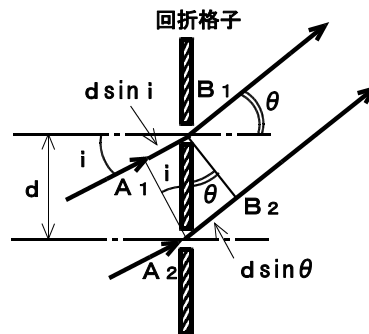


図6 回折格子面での光路差

2 分光計による波長の測定

本実験では、分光計を用いて光のスペクトルを観察する場合、回折格子としては反射型を使う。図7は、反射型回折格子による光の回折を示したもので、煩雑さを避けるため、図には、反射光( $m = 0$ )と1次の回折光( $m = 1$ )のみを表している。

格子定数  $d$  の回折格子に、入射角  $i$  で入射した波長  $\lambda$  の光が角  $\theta$  で回折する場合、回折条件は透過型の場合と同じく、(7)式で表される。

分光計を用いて実際に回折光を観察する場合、垂直入射で測定するためには、回折格子を光源の方向に垂直に置かなければならない。これは、例えば、水素原子の赤の線スペクトルを用いて、二つの1次( $m = \pm 1$ )の回折角が正確に一致するように配置すれば良い。ここでは、一般的な測定方法として、斜方入射での測定を考える。

回折格子を図7のように，光源に対して斜めになるように置いたとき，測定するのは回折角ではなく，入射光線AOとのなす角である。従って，

$$d(\sin \phi - \sin i) = m \quad \dots (8)$$

(  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  )

$$\text{回折角} = \phi - i \quad \dots (9)$$

となる。波長を求めるには，角の他に入射角  $i$  が必要であるが，反射光 ( $m = 0$ ) を観測し入射光線となす角  $\phi_0$  を測定すれば，

$$\text{入射角} : i = \phi_0 / 2 \quad \dots (10)$$

から求められる。従って，分光計による波長の測定では

回折格子による反射光 ( $m = 0$ ) の位置  $\phi_0$  を求める。

回折格子を動かさずに，各線スペクトルの位置  $\phi$  を求める。

ことになる。

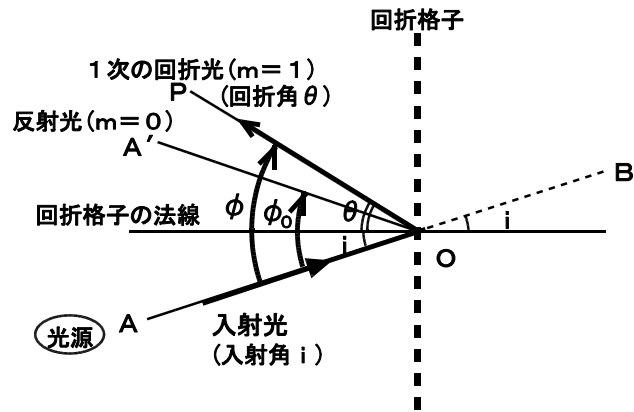


図7 反射型回折格子での分光

### 3 分光計

分光計は，図8のように，コリメータ，ステージ，望遠鏡と目盛り板から成り立っている。

- ・コリメータ...スリットを通して光源からの光を，ステージ上のプリズムや回折格子に入射させる。入射光の幅と長さは，スリットとスリットの前面の可動V字型クサビによって調節できる。コリメータレンズにより，スリットからの光は平行光線となる。
- ・ステージ.....プリズムや回折格子を載せる基台で，中心軸のまわりに独立に回転させることができる。ステージ調整ネジ3本で高さや水平を調節する。
- ・望遠鏡.....プリズムや回折格子で屈折や反射，透過した光を観察し，その角度を調べるためのもの。望遠鏡の視野にはX状の十字線があり，スリットによる光の台形像の固定端にXの中心を合わせる（図9）。
- ・目盛り板.....円板の周には1目盛り30 (=0.5°)の目盛がついている。望遠鏡と連動したバーニャにより，望遠鏡の位置を1°まで読み取ることができる。バーニャは，

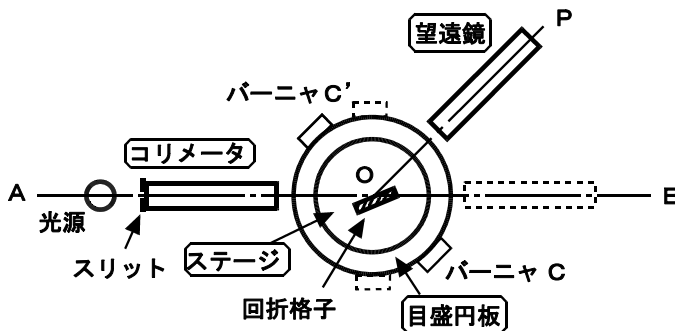


図8 分光計による波長測定

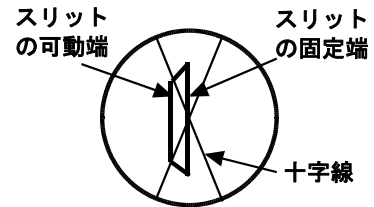


図9 望遠鏡による視野

( 反射型回折格子による反射像や回折像では，左右が逆になる )

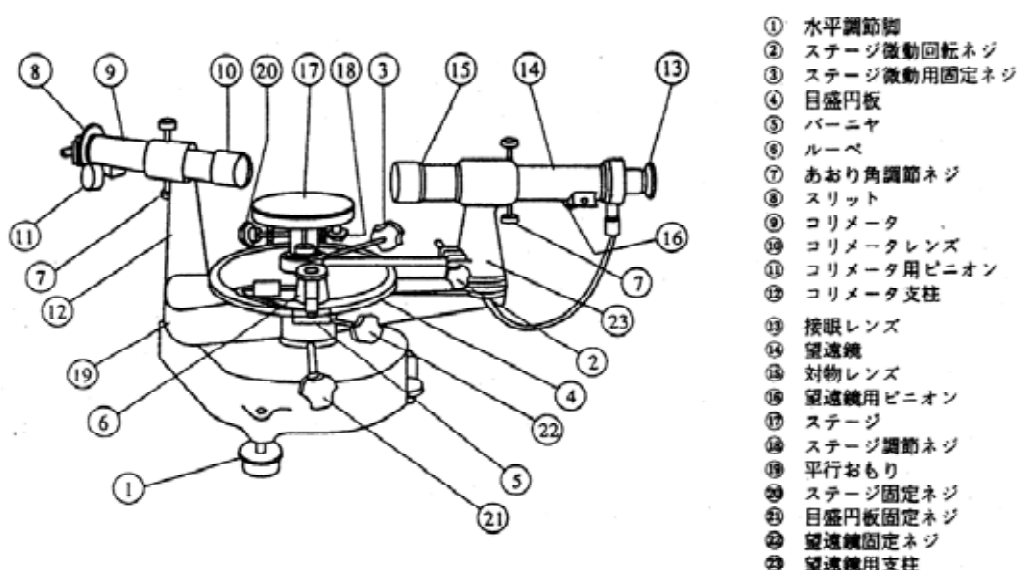


図10 分光計の各部の名称

中心軸に正対して2個あり，両方の読み取り値を平均することによって，望遠鏡の偏心誤差を最小にすることができる。

### § 3 実験

#### 1 実験装置および器具

- ・分光計，回折格子(ホグ ラフィック レーティング：反射型で格子定数  $d = 1/1200\text{mm}$ )
- ・バルマーランプ...水素原子の発光スペクトル用光源。水蒸気で満たされた交流電源で動作するガス放電管で，放電の際水素原子と水酸基に分離する。水素分子による不要なスペクトル帯は発生しない。
- ・He, Na光源装置

#### 2 実験装置の配置と調整

実験装置の配置は図8のようにする。実験を始める前に，分光計について次の調整をする。望遠鏡を平行光線に合わせ十字線との視差をなくす。

- ・望遠鏡を明るい窓に向け，内部の十字線が明瞭に見えるように接眼レンズで調整する。
- ・次に接眼レンズの位置を動かさずに，遠方の物体に向けピニオンを回してピントを合わせる。

望遠鏡の光軸とステージを回転軸に垂直になるようにする。

- ・ステージに三角プリズムを図11のように置く。このとき，プリズムの一つの面がステージ調節ネジXとYを結ぶ線に直角となるように注意する。
- ・望遠鏡の接眼部に取り付けられている光源を点灯し，アッペプリズム（望遠鏡に内装している）を通した光をプリズム面で反射させると，図12のように，望遠鏡の視野には，アッペプリズムの明るい反射像とともに十字線の反射像が見える。この十字線の反射像を元の十字線に一致させるように，ステージ調節ネジX(またはY)と望遠鏡のあおり角調節ネジで調節する。このとき，ステージと望遠鏡の調節の割合は，半々に

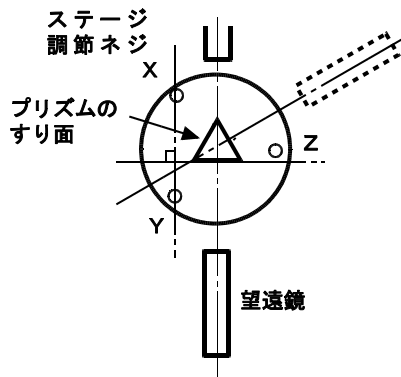


図11 望遠鏡の光軸とステージの調整

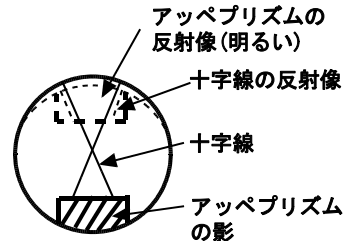


図12 望遠鏡の視野(オートコリメーション)

なるようにする。

- ・次に、望遠鏡をまわして他のプリズム面の方に向ける。ここでも、十字線の反射像を元の十字線に一致させるように調節するが、今度はステージの調節は調節ネジZで行う。ステージと望遠鏡の調節の割合は、半々になるようにする。
- ・このようにして、二つのプリズム面での調整を数回繰り返して、十字線の反射像を元の十字線に完全に一致させる。これで、望遠鏡の光軸とステージ面の回転軸が垂直になる。以後、ステージと望遠鏡の調節ネジは動かさない。

コリメータを平行光線に調整し、同時にその光軸を望遠鏡の光軸に合わせる。

- ・コリメータのスリットを通して光を入れる。プリズムを取り除き、望遠鏡とコリメータを一直線にしてスリット像をみる。コリメータ用ピニオンを動かして、スリット像が明瞭に見えるように調整する。
- ・次に、スリット像の固定端の中心が、十字線の中心になるようにコリメータの角調節ネジで合わせる。

調整が終わったら、コリメータ、望遠鏡、ステージの調節ネジは実験が終わるまで動かさない。ステージを図11の配置に固定する。また、目盛円板は回転できるが、適当な位置に固定して置く。

### 3 実験の方法

バルマーランプを分光計のスリットの前に置く。図8のBの方向から望遠鏡を覗き、コリメータからの光を十字線に合わせる。このときの望遠鏡の位置をバーニャCとC'から読み取り、それぞれ  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  として平均値  $\theta_0 = (\theta_1 + \theta_2)/2$  を求める。角度  $\theta_0$  は、目盛円板に対する入射光線の方向を与える。

ステージの上に、グレーティング  $G$  に取りた回折格子を置く。望遠鏡を回転し、回折格子による反射光と長波長の赤のスペクトル線H'までが観察できるように、バーニャの位置にも注意しながら、ステージ上の回折格子の位置を決める。以後、回折格子の位置は測定が終わるまで変更しない。

反射光に望遠鏡の十字線を合わせ、バーニャCとC'でその位置を読み取る。これらをそれぞれ  $\theta_{01}$ ,  $\theta_{02}$  とすると、その平均値  $\theta_0 = (\theta_{01} + \theta_{02})/2$  は反射光線の方向を与え、入射光とのなす角  $\theta_0$  は、

$$\theta_0 = \theta_1 - \theta_2 \quad \dots (11)$$

となる。

同様に、各スペクトル線の位置をバーニヤCとC'で読み、読み取り角  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  からその平均値  $\theta_0 = (\theta_1 + \theta_2)/2$  を求める。角  $\theta_0$  は各スペクトル線の方角を与え、入射光とのなす角  $i$  は、

$$i = \theta_0 - \theta_0 \quad \dots (12)$$

となる。

このようにして求めた角  $\theta_0$  と  $i$  から、(8)式~(10)式を用いて水素原子のスペクトル線の波長を求める。

光源をHeやNaに代え、同様にして、線スペクトルを観察し波長を求める。

#### § 4 実験結果と分析

以下の実験結果は、すべて、 $m = -1$  の回折光に対して測定した結果である。

##### 1 水素原子

##### (1) 線スペクトルの波長

- ・入射光線の方角

目盛板の読み  $\theta_1 = 54^\circ 39'$ ,  $\theta_2 = 234^\circ 38'$ , 平均値  $\theta_0 = 144^\circ 38.5'$

- ・反射光線の方角

目盛板の読み  $\theta_{01} = 163^\circ 16'$ ,  $\theta_{02} = 343^\circ 15'$ , 平均値  $\theta_0 = 253^\circ 15.5'$

- ・反射光と入射光のなす角

$$\theta_0 = \theta_{01} - \theta_{02} = 108^\circ 37'$$

$$\text{入射角 } i = \theta_0 / 2 = 54^\circ 18.5'$$

- ・スペクトル線の測定

表1 水素原子の線スペクトルの測定 ( $m = -1$ )

	観察した色	目盛板の読み		平均値 ( $(\theta_1 + \theta_2)/2$ )	入射光との角 $= \theta_0 - \theta_0$	回折角 $= \theta_0 - i$
		$\theta_1$	$\theta_2$			
H	赤	110° 22'	290° 21'	200° 21.5'	55° 43'	1° 24.5'
H	水色	122° 11'	302° 10'	212° 10.5'	67° 32'	13° 13.5'
H	紫	125° 53'	305° 52'	215° 52.5'	71° 14'	16° 55.5'

- ・線スペクトルの波長の測定値

$m = -1$  に対して(8)式から波長  $\lambda$  を求めると表2のようになる。

$$\lambda = d(\sin i - \sin \theta)$$

$$d = 1/1200 \text{ [nm]}$$

例えば、H $\alpha$  に対する実験値は 656.32nm で、一方、理科年表[2]では 656.29nmであり、実験で有効数字4桁まで求められたことになる。他の線スペクトルに対しても、ほぼ有効数字4桁までは求められている。

表2 水素原子の線スペクトル

	測定値		理科年表[2]
	波長 [nm]	遷移エネルギー [eV]	波長 [nm]
H	656.3	1.889	656.29
H	486.2	2.550	496.13
H	434.2	2.855	434.05

(2) リュードベリ定数

波長の測定値より，(1)式からリュードベリ定数Rを求めることができる。

$$H : \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \text{ より } R = \frac{36}{5} = \frac{36}{5 \times 656.3 \times 10^{-9}} = 1.097 \times 10^7 \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

$$H : \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) \text{ より } R = \frac{16}{3} = \frac{16}{3 \times 486.3 \times 10^{-9}} = 1.097 \times 10^7 \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

$$H : \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right) \text{ より } R = \frac{100}{21} = \frac{100}{21 \times 434.2 \times 10^{-9}} = 1.097 \times 10^7 \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

いずれの場合も  $R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$  となり，(3)式の理論値と一致する。従って，ボーアの原子モデルの正当性を実験により確認したことになる。

(3) 水素原子のエネルギー準位

波長 の光子のエネルギー E [eV]は

$$E \text{ [eV]} = h \nu = h \frac{c}{\lambda} = \frac{1.240 \times 10^{-6}}{[\text{m}]} \quad (13)$$

で求められる。この式から，光子の放出に伴う遷移のエネルギー(光子のエネルギー)を計算すると表2のようになる。図13に，この値を基にして作った水素原子のエネルギー準位を示す(エネルギーの値は少数第2位まで示した)。

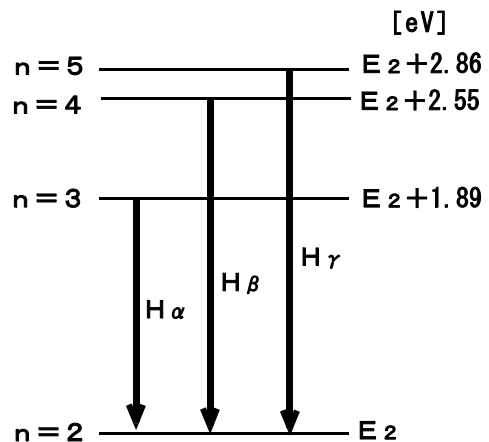


図13 水素原子のエネルギー準位図

2 ヘリウム原子

(1) 線スペクトルの波長

- ・入射光線の方向(水素原子の場合と同じ)..... 平均値  $\theta_0 = 144^\circ 38.5$
- ・反射光線の方向  
目盛板の読み  $\theta_{01} = 163^\circ 26$  ,  $\theta_{02} = 343^\circ 24$  , 平均値  $\theta_0 = 253^\circ 25$
- ・反射光と入射光のなす角  $\theta_0 = \theta_{01} - \theta_{02} = 108^\circ 46.5$   
入射角  $i = \theta_0 / 2 = 54^\circ 23.25$
- ・線スペクトルの波長の測定値

$m = -1$  に対して(8)式から波長 を求めると表3，表4，図14のようになる。

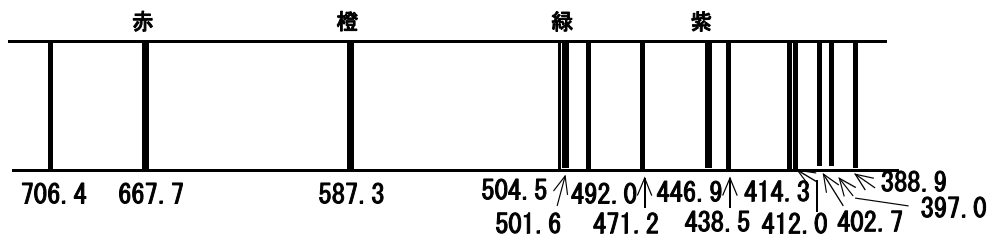


図14 ヘリウム原子の線スペクトル(波長は測定値，単位nm)



表3 ヘリウム原子の線スペクトルの測定 (  $m = -1$  )

	観察 した色	目盛板の読み		平均値 ( $\theta_1 + \theta_2$ ) / 2	入射光との角 = $\theta_0$	回折角 = $\theta_i$
		$\theta_1$	$\theta_2$			
a	暗赤	107° 03	287° 02	197° 02.5	52° 24	-1° 59.25
b	赤	109° 43	289° 41	199° 42.0	55° 03.5	0° 40.25
c	橙	115° 15	295° 14	205° 14.5	60° 36	6° 12.75
d	暗緑	121° 01	301° 00	211° 00.5	66° 22	11° 58.75
e	緑	121° 14	301° 12	211° 13.0	66° 34.5	12° 11.25
f	青緑	121° 54	301° 53	211° 53.5	67° 15	12° 51.75
g	青紫	123° 22	303° 21	213° 21.5	68° 43	14° 19.75
h	紫	125° 06	305° 05	215° 05.5	70° 27	16° 03.75
i	暗紫	125° 42	305° 41	215° 41.5	71° 03	16° 39.75
j	暗紫	127° 27	307° 26	217° 26.5	72° 48	18° 24.75
k	暗紫	127° 37	307° 36	217° 36.5	72° 58	18° 34.75
l	暗紫	128° 18	308° 16	218° 17.0	73° 58.5	19° 15.25
m	暗紫	128° 43	308° 41	218° 42.0	74° 03.5	19° 40.25
n	暗紫	129° 18	309° 17	219° 17.5	74° 39	20° 15.75

印のスペクトルは輝度が非常に高いもの。

## (2)ヘリウム原子のエネルギー準位

表4に(13)式を用いて計算した遷移に伴う光子のエネルギーを示す。

水素原子の図13と同じように、これらのエネルギーを単純に並べてもエネルギー準位図にはならない。ヘリウム原子は2電子系であり、一般に電子配置によってそれぞれ異なるエネルギー準位になる。例えば、 $n = 2$ の状態は表5のように4個の電子配置があり、それぞれ異なるエネルギーを持つ。

従って、測定した波長の光子がどの準位間の遷移になっているかは、これだけでは同定できない。しかし、水素原子のエネルギー準位と比較することにより、エネルギーの観点だけからいくつか推測

することができる[4]。水素原子で、表2の実験から得られた各遷移のエネルギーの差は

$$\text{水素原子 } E(H) - E(H) = 0.661 \text{ [eV]}$$

$$E(H) - E(H) = 0.305 \text{ [eV]}$$

表4 ヘリウム原子の線スペクトル

	測定値		理科年表[2]
	波長 [nm]	遷移のエネルギー [eV]	波長 [nm]
a	706.4	1.755	706.52
b	667.7	1.857	667.82
c	587.3	2.111	587.56
d	504.5	2.458	
e	501.6	2.472	501.57
f	492.0	2.520	492.19
g	471.2	2.631	471.31
h	446.9	2.774	447.15
i	438.5	2.827	438.79
j	414.3	2.993	414.38
k	412.0	3.010	412.08
l	402.7	3.079	402.62
m	397.0	3.123	396.47
n	388.9	3.188	388.87

である。このエネルギー差にほぼ等しい値が、ヘリウム原子の次の遷移の組に対して得られる。

$$\begin{aligned} \text{ヘリウム原子} & \begin{cases} E(f) - E(b) = 0.663 \text{ [eV]} \\ E(h) - E(c) = 0.663 \text{ [eV]} \end{cases} \\ \text{ヘリウム原子} & \begin{cases} E(i) - E(f) = 0.307 \text{ [eV]} \\ E(l) - E(h) = 0.305 \text{ [eV]} \end{cases} \\ \text{さらに、これらの遷移については} & \\ \text{ヘリウム原子} & \begin{cases} E(c) - E(b) = 0.254 \text{ [eV]} \\ E(h) - E(f) = 0.254 \text{ [eV]} \\ E(l) - E(i) = 0.252 \text{ [eV]} \end{cases} \end{aligned}$$

表5 ヘリウム原子のエネルギー準位 (n=1,2)

	電子配置	エネルギー [eV]	エネルギー差 [eV]
n = 1	1s <sup>2</sup> <sup>2</sup> S	0.0(基準)	
n = 2	1s2s <sup>3</sup> S	19.819	-----
	1s2s <sup>1</sup> S	20.615	-----
	1s2p <sup>3</sup> P	20.964	-----
	1s2p <sup>1</sup> P	21.217	-----

(エネルギー値は文献[3]による)

のようになり、bとc、fとh、iとlの差はほぼ等しい。従って、これらの関係は、図15のように表せる。即ち、ヘリウム原子の bとc、fとh、iとlの遷移は、それぞれ水素原子の n = 3, 4, 5の準位から n = 2の準位への遷移に対応し、また、n = 2の準位にはエネルギー差 約0.25eV のごく接近した二つの準位があると推定される。エネルギー差 約 0.25eV の二つの順位は、表5によると、電子配置 1s2p の<sup>1</sup>Pと<sup>3</sup>Pの状態であり、この推論を裏付けている。

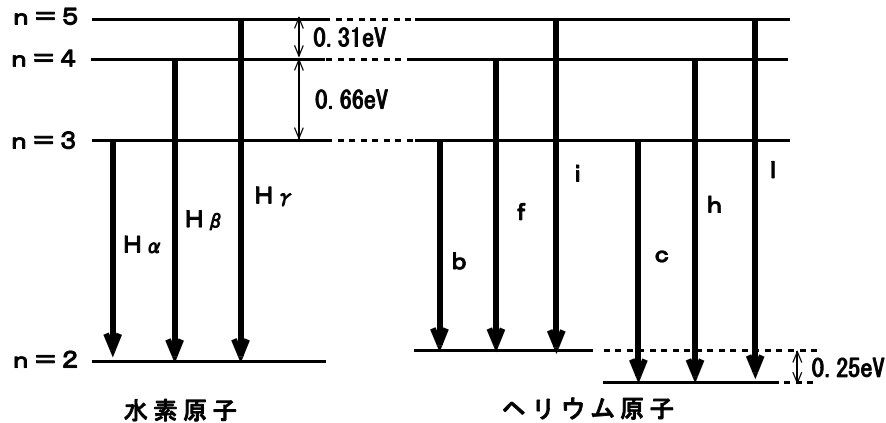


図15 水素原子と比較したヘリウム原子のエネルギー準位の考察

### 3 ナトリウム原子の橙色スペクトル(D線)

ナトリウム原子の発光スペクトルを観察すると、ごく接近した2本の線スペクトルがいくつか見られる。ここでは、ナトリウムランプなどで有名な橙色の線スペクトルを調べる。

#### (1)線スペクトルの波長

- ・入射光線の方向 (水素原子の場合と同じ) ..... 平均値  $\theta_0 = 144^\circ 38.5$
- ・反射光線の方向  
目盛板の読み  $\theta_1 = 130^\circ 51$  ,  $\theta_2 = 310^\circ 50$  , 平均値  $\theta_0 = 220^\circ 50.5$
- ・反射光と入射光のなす角  $\theta_0 = \theta_2 - \theta_1 = 76^\circ 12$
- 入射角  $i = \theta_0 / 2 = 38^\circ 06$

・スペクトル線の測定値

$m = -1$  に対して(8)式から波長 を求めると表 6 , 表 7 のようになる。

表 6 ナトリウム原子の線スペクトルの測定 ( $m = -1$ )

	観察した色	目盛板の読み		平均値 ( $\theta_1 + \theta_2$ )/2	入射光との角 = $\theta_0$	回折角 = $\theta_i$
		$\theta_1$	$\theta_2$			
D <sub>1</sub>	橙	87° 34	267° 33	177° 33.5	32° 55	-5° 11
D <sub>2</sub>	橙	87° 36	267° 35	177° 35.5	32° 57	-5° 09

表 7 ナトリウム原子の線スペクトル

	実験値		理科年表[2]
	波長 [nm]	遷移のエネルギー [eV]	波長 [nm]
D <sub>1</sub>	589.5	2.103	589.592
D <sub>2</sub>	589.0	2.105	588.995

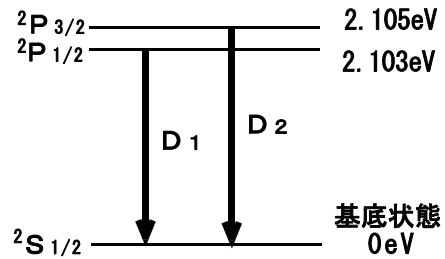


図16 ナトリウム原子のD線

(2)ナトリウム原子のD線

ナトリウム原子は11個の電子をもち、基底状態は、 $n = 1, 2$  の内部閉殻と  $n = 3$  の  $s$  状態に 1 個の電子がある。この基底状態の次に高いエネルギーの状態は、 $3s$  状態の電子が  $3p$  状態に励起されたもので、ごく接近した二つのエネルギー準位 ( $3^2P_{1/2}$  と  $3^2P_{3/2}$ ) がある[5]。ナトリウム原子の橙色の二つの線スペクトル  $D_1$  と  $D_2$  は、これらの励起状態から基底状態の遷移に伴う発光によるものである。

【参考】《分光器》

分光器は、主にスペクトルの観察用に活用できる。図17はプリズム分光器の概要で、光源からの光はコリメータにより平行光線となりプリズムに入射し、波長に応じて異なる角度で屈折して望遠鏡に入る。別に波長目盛付投影管が設けられていて、ランプで照明すると望遠鏡に波長目盛が投影される。従って、スペクトルの観察と同時に、波長を知ることができる。

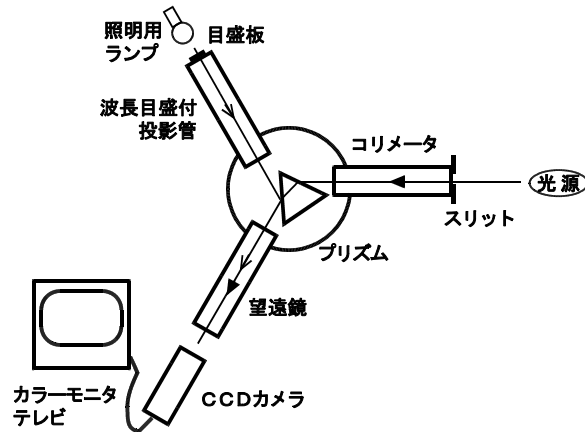


図17 分光器と演示実験

【参考文献】

[1] 「分光計」取扱説明書 (島津理化器械(株))  
 [2] 国立天文台編「理科年表」(丸善 1995年版)  
 [3] 「物理学辞典」(倍風館 1984)  
 [4] 芦葉浪久編「実験観察教材教具」(東京書籍 1978) p565  
 [5] 中原勝儼著「色の科学」(倍風館 1985)