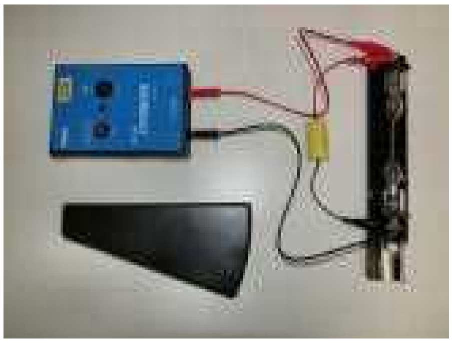
【実験】線スペクトルの観測とリュードベリ定数（実験書・データ）



【目的】水素の輝線スペクトルの波長を観測し，バルマーやリュードベリの業績を辿って，リュードベリ定数を求める。
【準備物】スペクトル管（水素），スペクトル管支持台，インダクションコイル，簡易分光器（回折格子の実験で作ったものまたは市販品）
【理論】1885 年，ドイツの数学者・物理学者ヨハン・ヤコブ・バルマー（1825-1898）は，水素原子の線スペクトルの波長が次のような数列で表されることを発見した。

$$\lambda = 3.6456\times10^{-7} \times \left[n^2 \,/\, (n^2 - 2^2) \right] \quad \cdots ①$$

ここで，$n = 3, 4, 5, 6, \cdots$ である。

バルマーが発見した公式は、後にヨハネス・リュードベリ（1854-1919）によってリュードベリの公式の特別な場合であることが明らかとなった。

$$1/\lambda = R\left[(1/n')^2 - (1/n)^2\right]$$

$$n' = 1,2,3\cdots \;,\; n = n'+1,\; n'+2,\; n'+3\cdots$$

$$R = 1.097\times10^{7} \;〔1/\mathrm{m}〕 \quad \cdots ②$$

n'	n	λ〔m〕
2	3	656×10^{-9}
	4	486×10^{-9}
	5	434×10^{-9}

ここで，②式において，$n'=2$ に相当する式が①になる。
さらに，観測されるスペクトル線のうち，H_α，H_β，H_γ 線の波長は $n=3,4,5$ に相当する。②式に代入して計算すると次表のようになる。

【実験の方法】

1　**実験装置**　回折格子を使って簡易分光器を作る（「波動」分野の実験を参照）。

2　**実験**

①水素スペクトル管をスペクトル管支持台にセットし，誘導コイルをつないで発光させる。

②簡易分光器を使って波長を測定する。

【考察】【理論】①式より,リュードベリ定数は,次式のようになる。

$$R = 4n^2 / (n^2 - 4) \times (1/\lambda) \quad \cdots ③$$

注意スペクトル管支持台の接点から電磁波が出る可能性があるので，1m 以上離れて観察する。スペクトル管は劣化が早いので短時間で観測・測定をすること。

【結果】自作簡易分光器を使った測定

輝線	色	$\overline{SP}$〔cm〕	$\sin\theta$	観測値 λ〔nm〕	量子数 n	ﾘｭｰﾄﾞﾍﾞﾘ定数 R〔1/m〕	備考
A（H_α）	紫	14.4	0.435	435	5	1.09×10^{7}	
B（H_β）	青	13.9	0.495	495	4	1.08×10^{7}	
C（H_γ）	赤	11.9	0.668	668	3	1.08×10^{7}	
					平均 R =	1.08×10^{7}	

【結果】ナリカ社製簡易分光器 SM-200N を使った測定

輝線	色	$\overline{SP}$〔cm〕	$\sin\theta$	観測値 λ〔nm〕	量子数 n	ﾘｭｰﾄﾞﾍﾞﾘ定数 R〔1/m〕	備考
A（H_α）	紫			430	5	1.10×10^{7}	
B（H_β）	青			485	4	1.10×10^{7}	
C（H_γ）	赤			705	3	1.02×10^{7}	
					平均 R =	1.07×10^{7}	

講座（　　）（　）年（　）組（　）席　名前　　　　　　　　共同実験者
（　）月（　）日（　）曜（　）限　気温（　）℃　気圧（　　　）hPa　湿度（　　）%

【実験】線スペクトルの観測とリュードベリ定数（レポート・データ）

【目的】水素の輝線スペクトルの波長を観測し，バルマーやリュードベリの業績を辿って，リュードベリ定数を求める。

【理論】ヨハネス・リュードベリ（1854-1919）によって，水素原子の輝線スペクトルの波長が次式のような数列に従うことが発見された。

$1/\lambda = R〔(1/n')^2 - (1/n)^2〕$　　$n' = 1,2,3\cdots$　，$n = n'+1,\ n'+2,\ n'+3\cdots$　　・・・①

そのうち，可視光線の領域は水素原子の式より,$n' = 2$ であることから，リュードベリ定数は,次式のようになる。

$R = 4n^2/(n^2 - 4) \times (1/\lambda)$　　・・・②

【結果】測定の結果、次表のように計算できた。

【結果】自作簡易分光器を使った測定

輝線	色	$\overline{SP}$〔cm〕	$\sin\theta$	観測値 λ〔nm〕	量子数 n	ﾘｭ-ﾄﾞﾍﾞﾘ定数 R〔1/m〕	備考
A（H_α）	紫	14.4	0.435	435	5	1.09×10^7	
B（H_β）	青	13.9	0.495	495	4	1.08×10^7	
C（H_γ）	赤	11.9	0.668	668	3	1.08×10^7	
					平均 R =	1.08×10^7	

【結果】市販分光器を使った測定

輝線	色	$\overline{SP}$〔cm〕	$\sin\theta$	観測値 λ〔nm〕	量子数 n	ﾘｭ-ﾄﾞﾍﾞﾘ定数 R〔1/m〕	備考
A（H_α）	紫			430	5	1.10×10^7	
B（H_β）	青			485	4	1.10×10^7	
C（H_γ）	赤			705	3	1.02×10^7	
					平均 R =	1.07×10^7	

【考察】ボーアの水素原子モデルによる説明。

水素原子の電子（質量 m，電気量 e）は，静電気力（クーロンの比例定数を k）を向心力として，原子核（電気量 e）の回りを半径 r で等速円運動をしていると考えられる。電子の運動の速さを υ とすると、運動方程式は〔① $m\upsilon^2/r = ke^2/r^2$ 〕である。

電子の運動は波動性を有しており，速度 υ のときの波長を λ とすると，$\lambda =$（② $h/m\upsilon$ ）（プランク定数を h とする）である。電子の波動性と量子性は軌道半径の長さが波長の整数倍であることを要求しており，$2\pi r = n\lambda$（$n = 1,2,3\cdots$）である。よって，軌道半径を n を使って表すと，$r_n =$（③ $(nh)^2/(4\pi^2kme^2)$）となる。

軌道半径 r_n 上を運動している電子の力学的エネルギー E_n は運動エネルギーと位置エネルギーの和であるから，$E_n =$（④$(1/2)m\upsilon^2 + (-ke^2/r)$）$= -ke^2/2r_n =$（⑤ $-2\pi^2k^2me^4/(h^2n^2)$）である。

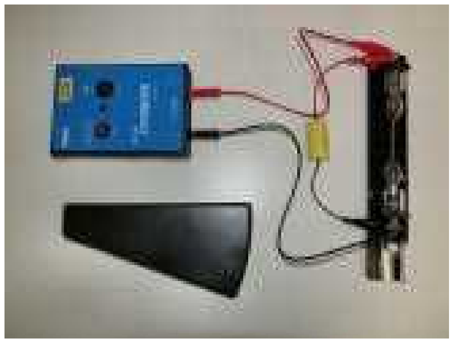
アインシュタインの光量子仮説によると，水素原子から出される光量子（エネルギー $h\nu$）は，電子のエネルギー準位間の遷移によって放出されることから，$h\nu = hc/\lambda = E_n - E_{n'}$であるので，$1/\lambda =$（⑥ $2\pi^2k^2me^4/(ch^3)$）×〔$(1/n')^2 - (1/n)^2$〕である。よって，リュードベリ定数 R は，$R =$（⑥ $2\pi^2k^2me^4/(ch^3)$）である。数値を代入すると，$R =$（⑦ 1.097×10^7 ）〔1/m〕となる。

実験結果と比較すると〔⑧　有効数字 2 桁では一致する結果　〕であった。

【感想】

講座（　　）	（　）年	（　）組	（　）席	名前		共同実験者	
（　）月	（　）日	（　）曜	（　）限	気温（　）℃	気圧（　　　）hPa	湿度（　　）%	

【実験】線スペクトルの観測とリュードベリ定数（実験書）



【目的】水素の輝線スペクトルの波長を観測し，バルマーやリュードベリの業績を辿って，リュードベリ定数を求める。
【準備物】スペクトル管（水素），スペクトル管支持台，インダクションコイル，簡易分光器（回折格子の実験で作ったものまたは市販品）
【理論】1885 年，ドイツの数学者・物理学者ヨハン・ヤコブ・バルマー（1825-1898）は，水素原子の線スペクトルの波長が次のような数列で表されることを発見した。

$$\lambda = 3.6456\times10^{-7} \times 〔n^2 ／（n^2 - 2^2)〕 \quad ・・・①$$

ここで，$n = 3, 4, 5, 6, \cdots$ である。
　バルマーが発見した公式は、後にヨハネス・リュードベリ（1854-1919）によってリュードベリの公式の特別な場合であることが明らかとなった。

$$1/\lambda = R〔(1/n')^2 - (1/n)^2〕$$

$$n' = 1,2,3\cdots \quad , \quad n = n'+1,\ n'+2,\ n'+3\cdots$$

$$R = 1.097\times10^7 \quad 〔1/m〕 \quad ・・・②$$

n'	n	λ〔m〕
2	3	656×10^{-9}
	4	486×10^{-9}
	5	434×10^{-9}

ここで，②式において，$n'=2$ に相当する式が①になる。
さらに，観測されるスペクトル線のうち，H_α，H_β，H_γ線の波長は $n=3,4,5$ に相当する。②式に代入して計算すると次表のようになる。

【実験の方法】

1　**実験装置**　回折格子を使って簡易分光器を作る（「波動」分野の実験を参照）。
2　**実験**
　①水素スペクトル管をスペクトル管支持台にセットし，誘導コイルをつないで発光させる。
　②簡易分光器を使って波長を測定する。

【考察】【理論】①式より，リュードベリ定数は,次式のようになる。

$$R = 4n^2 / (n^2 - 4) \times (1 / \lambda) \quad ・・・③$$

注意スペクトル管支持台の接点から電磁波が出る可能性があるので，1m 以上離れて観察する。スペクトル管は劣化が早いので短時間で観測・測定をすること。

【結果】自作簡易分光器を使った測定

輝線	色	$\overline{SP}$〔cm〕	sin θ	観測値 λ〔nm〕	量子数 n	ﾘｭｰﾄﾞﾍﾞﾘ 定数 R〔1/m〕	備考
A（H_α）	紫						
B（H_β）	青						
C（H_γ）	赤						
					平均 R＝		

【結果】市販分光器を使った測定

輝線	色	$\overline{SP}$〔cm〕	sin θ	観測値 λ〔nm〕	量子数 n	ﾘｭｰﾄﾞﾍﾞﾘ 定数 R〔1/m〕	備考
A（H_α）	紫						
B（H_β）	青						
C（H_γ）	赤						
					平均 R＝		

講座（　　）（　）年（　）組（　）席　名前　　　　　　　　共同実験者
（　）月（　）日（　）曜（　）限　気温（　）℃　気圧（　　　）hPa　湿度（　　）%

【実験】線スペクトルの観測とリュードベリ定数（レポート・データ）

【目的】水素の輝線スペクトルの波長を観測し，バルマーやリュードベリの業績を辿って，リュードベリ定数を求める。

【理論】ヨハネス・リュードベリ（1854-1919）によって，水素原子の輝線スペクトルの波長が次式のような数列に従うことが発見された。

$1/\lambda = R〔(1/n')^2 - (1/n)^2〕 \quad n' = 1,2,3\cdots \ , \ n = n'+1,\ n'+2,\ n'+3\cdots$ ・・・①

そのうち，可視光線の領域は水素原子の式より,$n' = 2$ であることから，リュードベリ定数は,次式のようになる。

$R = 4n^2/(n^2 - 4) \times (1/\lambda)$ ・・・②

【結果】測定の結果、次表のように計算できた。

【結果】自作簡易分光器を使った測定

輝線	色	$\overline{SP}$ 〔cm〕	$\sin\theta$	観測値 λ〔nm〕	量子数 n	ﾘｭｰﾄﾞﾍﾞﾘ定数 R〔1/m〕	備考
A（H α）	紫						
B（H β）	青						
C（H γ）	赤						
					平均 R＝		

【結果】市販分光器を使った測定

輝線	色	$\overline{SP}$ 〔cm〕	$\sin\theta$	観測値 λ〔nm〕	量子数 n	ﾘｭｰﾄﾞﾍﾞﾘ定数 R〔1/m〕	備考
A（H α）	紫						
B（H β）	青						
C（H γ）	赤						
					平均 R＝		

【考察】ボーアの水素原子モデルによる説明。

水素原子の電子（質量 m，電気量 e）は，静電気力（クーロンの比例定数を k）を向心力として，原子核（電気量 e）の回りを半径 r で等速円運動をしていると考えられる。電子の運動の速さを υ とすると、運動方程式は〔①　　　　　　　　〕である。

電子の運動は波動性を有しており，速度 υ のときの波長を λ とすると，λ＝（②　　　）（プランク定数を h とする）である。電子の波動性と量子性は軌道半径の長さが波長の整数倍であることを要求しており，$2\pi r = n\lambda$（$n = 1,2,3\cdots$）である。よって，軌道半径を n を使って表すと，r_n＝（③　　　　　　　）となる。

軌道半径 r_n 上を運動している電子の力学的エネルギー E_n は運動エネルギーと位置エネルギーの和であるから，E_n＝（④　　　　　　　　　）＝$-ke^2/2r_n$＝（⑤　　　　　　　　）である。

アインシュタインの光量子仮説によると，水素原子から出される光量子（エネルギー $h\nu$）は，電子のエネルギー準位間の遷移によって放出されることから，$h\nu = hc/\lambda = E_n - E_{n'}$であるので，$1/\lambda$＝（⑥　　　　　　）×〔$(1/n')^2 - (1/n)^2$〕である。よって，リュードベリ定数 R は，R＝（⑥　　　　　　）である。数値を代入すると，R＝（⑦　　　　）〔1/m〕となる。

実験結果と比較すると〔⑧　　　　　　　　　　〕であった。

【感想】

講座（　　）（　）年（　）組（　）席　名前	共同実験者
（　）月（　）日（　）曜（　）限　気温（　）℃　気圧（　　）hPa　湿度（　　）%	