

# 氢氦光谱以及类氢光谱实验

复旦大学物理系 周佳骏 08300190011

**摘要：**利用光栅光谱仪，观测实验室提供的氢灯和钠灯，通过观测光谱，测量数据以及进行计算，得到了有关氢和钠原子的一些性质。

**关键词：**氢氦光谱，钠光谱，巴尔末公式，跃迁

**引言：**早在 1853 年,埃格斯特就对氢光谱作了精确的测量。一百多年来，对氢光谱和氢原子结构的研究从未间断，它是实验研究与理论研究互相促进的典范。

## 实验原理：

光谱线系的规律与原子结构有内在的联系，因此，光谱是研究原子结构的一种重要方法。氢原子结构是所有原子中最简单的，便于从实验上和理论上对它进行充分的研究。碱金属原子的最外层的壳层上只有一个容易电离的电子，而内壳层都是满壳层，满壳层上的电子不电离，绕原子核运动，这些电子与原子核形成原子实。因此碱金属属于一种类氢原子，但它有别于氢原子，它的原子实并不严实，是由  $Z$  个带正电的质子和  $Z-1$  个带负电的电子组成，在价电子场的作用下，正负电荷的中心不重合，原子实被极化，这样，价电子不仅受到库仑

$$E_n = -hcR_H \frac{1}{n^2}$$

场的作用还将受到偶极矩的作用，类氢原子的能级变为：

式中  $n$  称为有效量子数。 $n = n + \Delta$ ,  $\Delta$  则称为量子亏损。

$$\nu = \frac{R}{(n' - \Delta_{n'})^2} - \frac{R}{(n - \Delta_n)^2}$$

钠原子光谱线的波数为

光谱项： $T(n) = R/n^2$

$$\nu = 1/\lambda = T(n_1) - T(n_2)$$

$n_1=1$ : 莱曼线系

$n_1=2$ : 巴尔末线系

$n_1=3$ : 帕邢线系

$n_1=4$ : 布拉开线系

$n_1=6$ : 普丰德线系

里德伯常数  $R_\infty = 2\pi^2 e^4 / ch^3$

$RH = R_\infty / (1 + m_e/m_H)$ ;  $RD = R_\infty / (1 + m_e/m_D)$

$$\nu = 1/\lambda_H = RH(1/2^2 - 1/n^2)$$

钠光谱的线系：

锐线系： $n^2S \rightarrow 3^2P (n > 3)$

主线系： $n^2P \rightarrow 3^2S (n \geq 3)$

漫线系： $n^2D \rightarrow 3^2P (n \geq 3)$

基线系： $n^2F \rightarrow 3^2D (n > 3)$  (谱线在红外区，非光谱仪工作范围，故不进行观测)

钠原子的光谱项值

	N=3	N=4	N=5	N=6	N=7
$S, l=0$	41444.9	6854.8	8245.8	5073.7	2481.9
$P, l=1$	24492.7	11181.9	6408.9	4152.9	2150.7

D,l=2	12274.4	6897.5	4411.6	3059.8	1720.1
F,l=3		6858.6	4388.6	3039.7	1708.2

**实验仪器:**

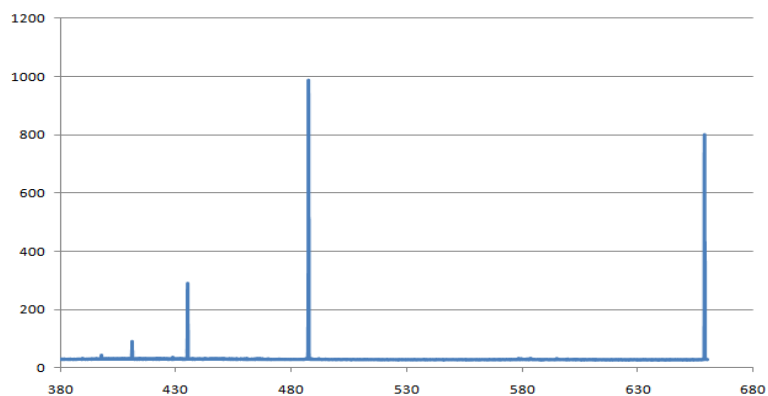
光栅单色仪

计算机

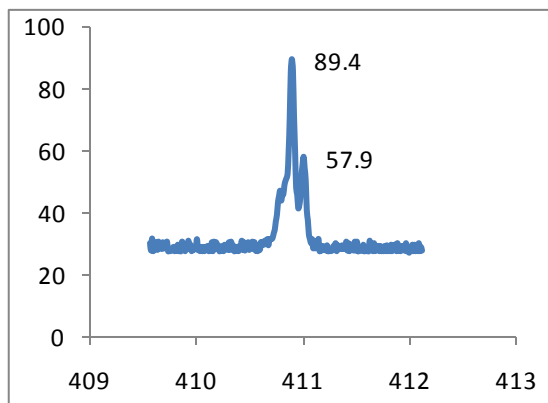
氢灯、高压钠灯、白炽灯

**实验内容:**

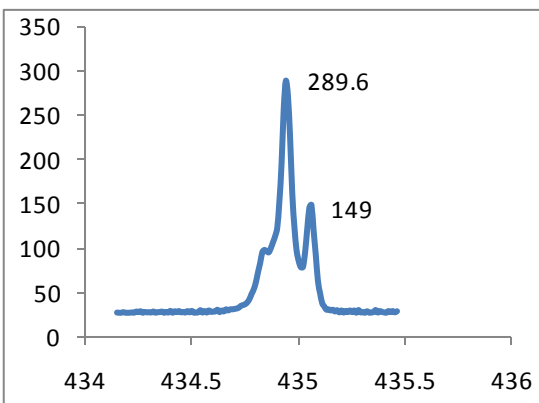
一. 氢氘光谱的测定: (横轴波长/nm, 纵轴光强)



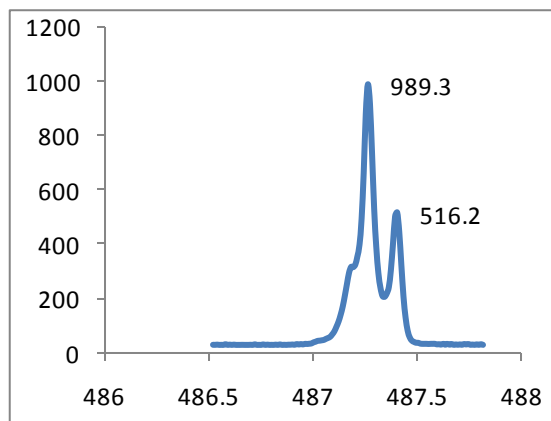
氢氘光谱整体图



局部放大图 1

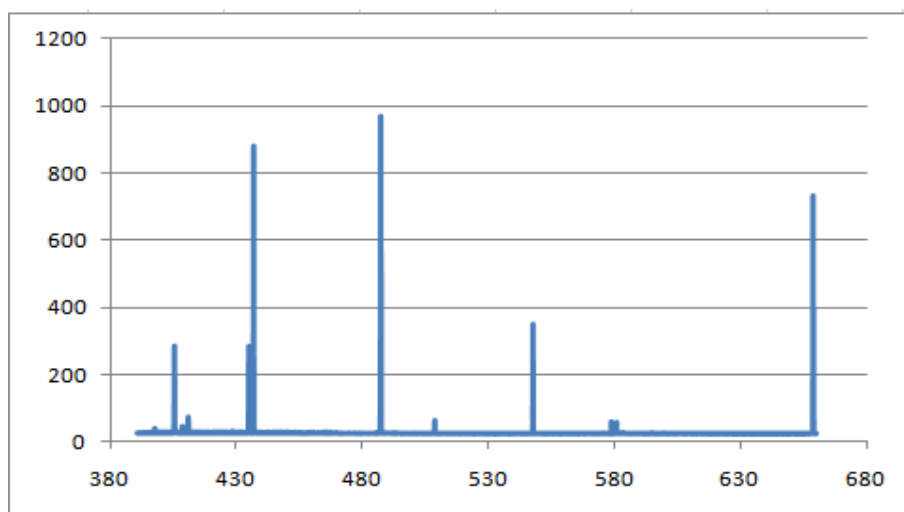


局部放大图 2

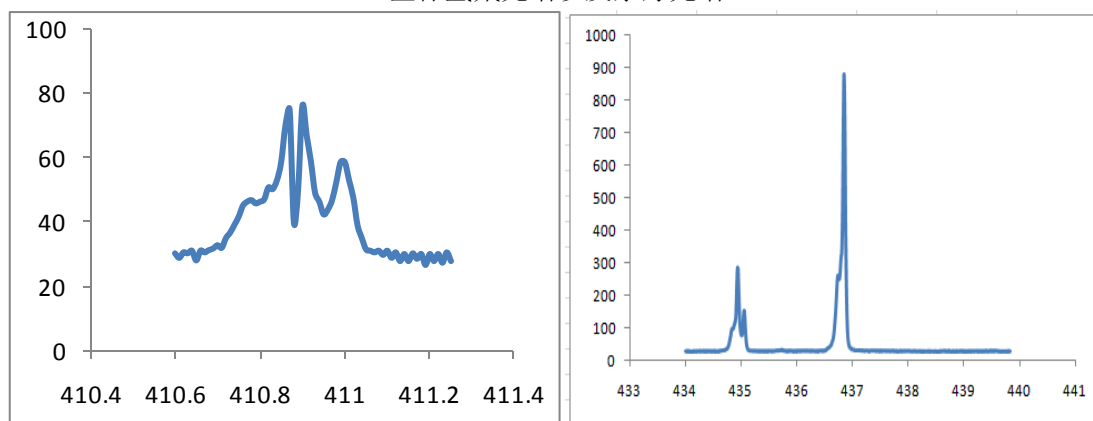


局部放大图 3

二. 用汞灯光谱与汞灯标准值定标光栅光谱仪 (横轴波长/nm, 纵轴光强)

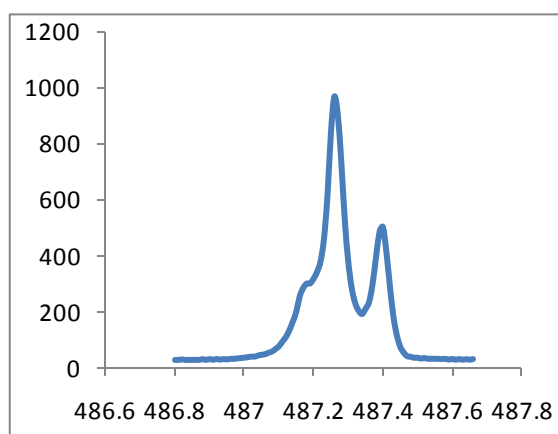


整体氢氙光谱以及汞灯光谱



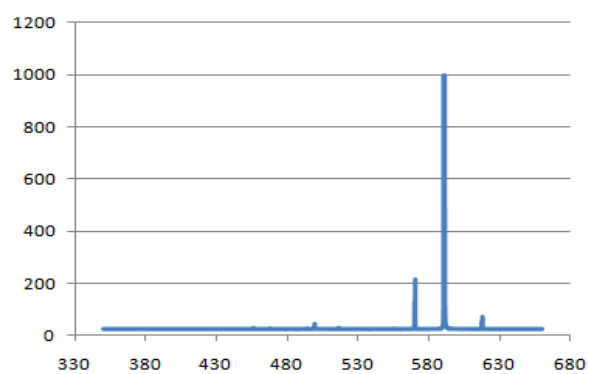
局部放大图 1

局部放大图 2

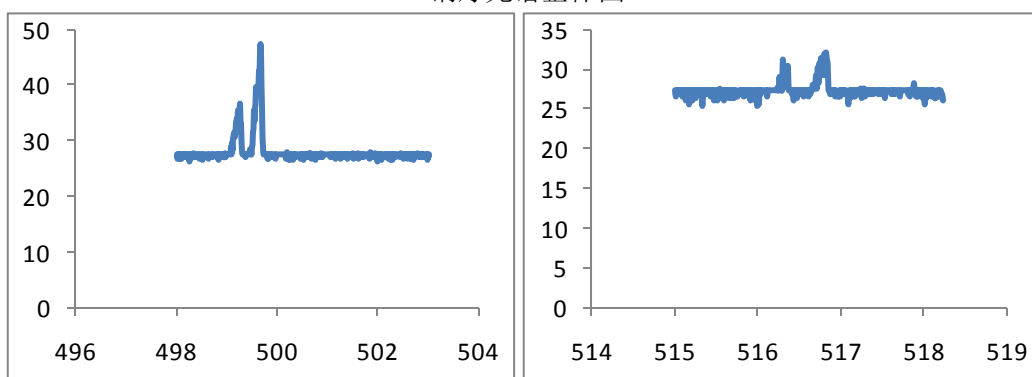


局部放大图 3

钠光谱：（横轴波长/nm，纵轴光强）

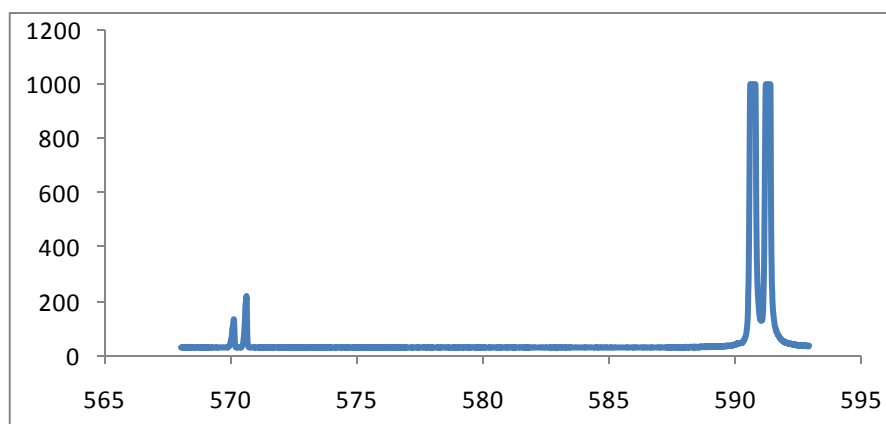


钠灯光谱整体图

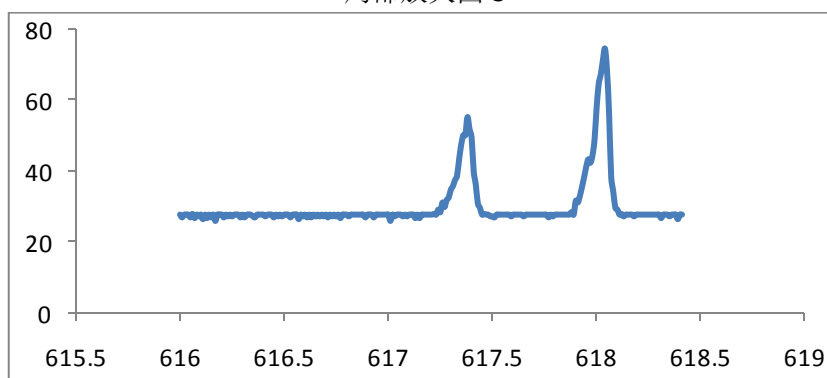


局部放大图 1

局部放大图 2



局部放大图 3



局部放大图 4

测量数据与处理:

汞灯定标: 将光谱仪测得的汞灯谱线值与实验室给定的标准值对比, 拟合出定标曲线:

汞灯	404.66	407.70	435.85	546.07	576.96	579.07
标准值	405.39	408.55	436.84	547.67	578.73	580.81

拟合直线:  $Y=0.9944x+1.4674$  Y: 修正后; X: 修正前

然后根据定标曲线修正氦光谱谱线波长, 进行计算。

计算结果出现异常(见下文), 因此改变计算方法, 改为用实验老师给定的氦光谱线标准值来对实验数据进行拟合, 即用标准值代替汞灯定标。

氦光谱的标准谱线波长:  $\lambda_H = 410.18$  n=6

434.05 n=5

486.13 n=4

拟合得:  $y=0.9999x+0.0432$  Y: 修正后; X: 修正前

与汞灯定标后的计算过程一样出现了相同的问题(见下文)

根据公式:  $v = 1/\lambda_H = R_H(1/2^2 - 1/n^2) = R_\infty(1/2^2 - 1/n^2)/(1 + m_e/m_H)$ ,

要使  $m_e/m_H, d$  大于 0,  $\text{Min}(\lambda_H, d) = 410.07$  n=6

433.94 n=5

486.01 n=4

656.11 n=3

汞灯定标和标准值修正计算结果:

n 值	7	6	5	4	3
氦峰值点/nm	397.72	411.00	435.06	487.40	658.92
汞灯定标/nm	396.96	410.17	434.09	486.14	656.70
标准值修正/nm		410.17	434.09	486.13	656.68
氦峰值点/nm	397.61	410.89	434.94	487.26	658.74
定标/nm	396.85	410.06	433.97	486.00	656.52
标准值修正/nm		410.06	433.97	485.99	656.50

黄色底的格子中的值小于相应的  $\text{Min}(\lambda_H, d)$  值, 所以在计算过程中出现了负值, 导致不能继续。

试用第三种方法: 将巴尔末公式:  $v = 1/\lambda_H = R_H(1/2^2 - 1/n^2) = R_\infty(1/2^2 - 1/n^2)/(1 + m_e/m_H)$  中的各个参数的标准值代入, 得到另一组氦光谱的谱线波长值:

$\lambda_H = 410.18$  n=6

434.05 n=5

486.13 n=4

对实验数据进行拟合, 得  $y=0.9947x+1.468$  Y: 修正后; X: 修正前

得到了一组数据:

n	$\lambda_H$	$\lambda_D$	$M_e/M_H$	$M_e/M_D$	$M_H/M_D$	$R_H$
6	410.29	410.18	$5.36 \times 10^{-4}$	$2.68 \times 10^{-4}$	0.50	10967852
5	434.22	434.10	$6.53 \times 10^{-4}$	$3.76 \times 10^{-4}$	0.58	10966571

4	486.28	486.14	$5.57 \times 10^{-4}$	$2.90 \times 10^{-4}$	0.52	10967618
3	656.90	656.72	$1.2 \times 10^{-3}$	$9.26 \times 10^{-4}$	0.82	10960572

N=3 组数据偏离标准值过大，视为异常数据。

表中的  $\lambda_H$ ,  $\lambda_D$  为经过直线拟合修正之后的值。

mH/mD 标准值=0.5,

实验数据计算得平均值=0.53, 相对误差 6%

钠光谱:

计算过程: 利用  $E=h\nu$  计算谱线的能量, 然后将钠谱线光谱项表中的值相减 (表见实验原理部分), 将结果与能量对比, 就能得到对应的跃迁。将同一种谱线的两条谱线波数相减, 得到  $n' = n + \Delta n$ , 进而得到  $\Delta n$

	实验值	修正后波长	对应跃迁	计算量子亏损
主线系	330.46, 330.54	330.18, 330.26	$4^2P \rightarrow 3^2S$	$\Delta p = -0.89$
	590.67, 591.35	589.01, 589.68	$3^2P \rightarrow 3^2S$	
锐线系	516.31, 516.79	515.04, 515.52	$6^2S \rightarrow 3^2P$	$\Delta s = -1.36$
	617.38, 618.02	615.58, 616.21	$5^2S \rightarrow 3^2P$	
漫线系	499.24, 499.66	498.06, 498.48	$5^2D \rightarrow 3^2P$	$\Delta d = -0.01$
	570.09, 591.35	568.54, 569.01	$4^2D \rightarrow 3^2P$	

《近代物理实验》中给出  $\Delta p$  约值-0.88,  $\Delta s$  约值-1.35,  $\Delta d$  约值-0.01。相差不大。

实验误差分析:

实验中的误差主要来源于测量误差, 部分来源于应用巴尔末公式而引进的巴尔末公式计算值与标准值的不同的误差。

实验结论:

利用实验室仪器观测到了氢氦光谱与钠光谱, 利用汞灯进行了定标, 发现了计算过程的问题, 通过计算粗略得到了氢原子与氦原子的质量比, 通过钠谱线的测量值推断出了对应的跃迁, 计算出了对应的量子亏损  $\Delta p$ 、 $\Delta s$  和  $\Delta d$ 。

致谢:

感谢实验室老师白翠琴老师的实验指导和帮助, 感谢在实验过程中给予我解答和帮助的同学们。

参考文献:

- [1] 戴道宣、戴乐山, 近代物理实验, 北京高等教育出版社
- [2] [http://phylab.fudan.edu.cn/doku.php?id=exp:h\\_spectrum](http://phylab.fudan.edu.cn/doku.php?id=exp:h_spectrum) 复旦大学物理实验中心网站