

大学

物理实验网络课程

On Line Courses of University Physics Experiments

物理实验课程 >> 钠原子光谱

[首页](#)
[网站地图](#)
[使用说明](#)
[更新日志](#)
[联系我们](#)

钠原子光谱


[仪器介绍](#) | [习题](#) | [仪器使用维护方法](#) | [问题交流](#)

实验简介

碱金属是元素周期表中的第一列元素（H除外），包括Li、Na、K、Rb、Cs、Fr，是一价元素，具有相似的化学、物理性质。碱金属原子的光谱和氢原子光谱相似，也可以归纳成一些谱线系列，而且各种不同的碱金属原子具有非常相似的谱线系列。碱金属原子的光谱线主要由4个线系组成：主线系、第一谱线系（漫线系）、第二辅线系（锐线系）和柏格曼线系（基线系）。

碱金属原子与氢原子在能级方面存在差异，而且谱线系种类也不完全相同。原子实的极化和轨道贯穿理论很好的解释了这种差别。进一步对碱金属原子光谱精细结构的研究证实了电子自旋的存在和原子中电子的自旋与轨道运动的相互作用，即自旋-轨道相互作用，这种作用较弱，由它引起了光谱的精细结构。

钠原子光谱及其相应的能级结构具有碱金属原子光谱和能级结构的典型特征。

本实验以钠原子光谱为研究对象，通过摄谱、识谱和波长测量，求出量子缺和钠原子若干激发态能级。

实验原理

■ 原理

- 钠原子由一个完整而稳固的原子实和它外面的一个价电子组成。原子的化学性质以及光谱规律主要决定于价电子。
- 与氢原子光谱规律相仿，钠原子光谱线的波数 σ_n 可表示为两项差

$$\sigma_n = \sigma_\infty - \frac{R}{n^{*2}}$$

(1)

其中 n^* 为有效量子数，当 n^* 无限大时， $\sigma_n = \sigma_\infty$ ， σ_∞ 为线系限的波数。

- 钠原子光谱项

$$T = \frac{R}{n^{*2}} = \frac{R}{(n - \Delta)^2}$$

它与氢原子光谱项的差别在于有效量子数 n^* 不是整数，而是主量子数 n 减去一个数值 Δ ，即量子修正 Δ ，成为量子缺。量子缺是由原子实的极化和价电子在原子实中的贯穿引起的。碱金属原子的各个内壳层均被电子占满，剩下的一个电子在最外层轨道上，此电子称为价电子，价电子与原子的结合较为松散，与原子核的距离比其他内壳层电子远得多，因此可以把除价电子之外的所有电子和原子核看作一个核心，称为原子实。由于价电子电场的作用，原子实中带正电的原子核和带负电的电子的中心会发生微小的相对位移，



于是负电子的中心不再在原子核上，形成一个电偶极子。极化产生的电偶极子的电场作用于价电子，使它受到吸引力而引起能量降低，降低了势能，此即轨道贯穿现象。原子能量的这两项也将受到原子实的附加引力，降低了势能，此即轨道贯穿现象。原子能量的这两项修正都与价电子的角动量状态有关。角量子数 l 越小，椭圆轨道的偏心率就越大，轨道贯穿和原子实极化越显著，原子能量也降低。因此，价电子越靠近原子实，即 n 越小、 l 越小时，量子缺 Δ 越大（当 n 越小时，量子缺主要决定于 l ，实验中近似认为 Δ 与 n 无关）。

- 钠原子光谱一般可以观察到四个谱线系，光谱图如图4.5.2-1所示。

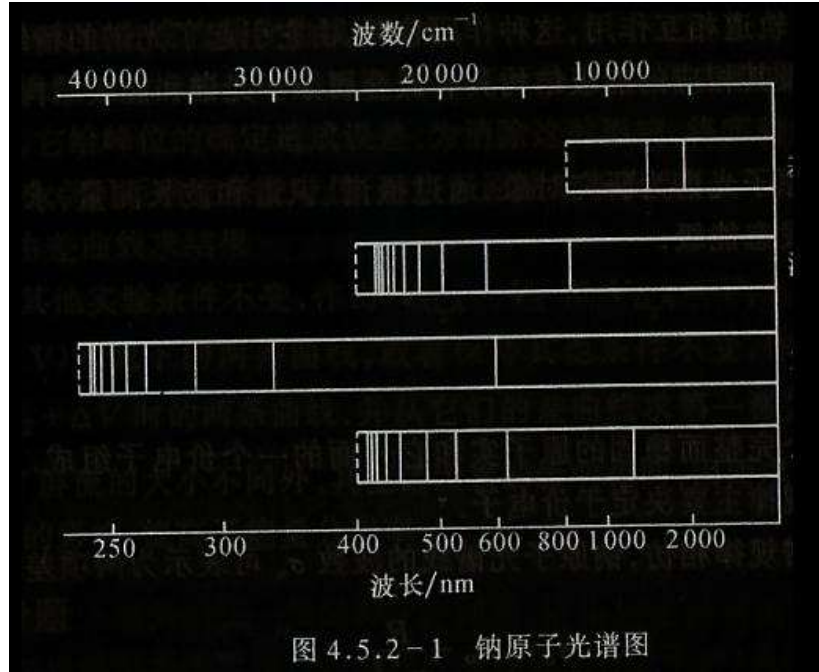


图 4.5.2-1 钠原子光谱图

- 主线系：相应于 $3s-np$ 跃迁， $n=3, 4, 5, \dots$ 主线系的谱线比较强，在可见光区只有一条谱线，波长约为589.3nm，其余皆在紫外区，由于自吸收的结果，所得钠黄线实际为吸收谱线。
- 锐线系：相应于 $3s-ns$ 的跃迁， $n=4, 5, 6, \dots$ 其第一条谱线波长为818.9nm，其余均在可见区域，锐线系强度较弱，但谱线边缘较清晰。
- 漫线系：相应于 $3s-nd$ 的跃迁， $n=3, 4, 5, \dots$ 漫线系的谱线较粗且边缘模糊。第一条谱线在红外区，波长约为1139.3nm，其余皆在可见区。
- 基线系：相应于 $3s-nf$ 的跃迁， $n=4, 5, 6, \dots$ 其谱线强度较弱，皆在红外区。
- 钠原子光谱系有精细结构，其中主线系和锐线系是双线结构，漫线系和基线系是三线结构。
- 各谱线系的波长公式为：

$$\begin{aligned}
 \text{主线系: } \sigma &= \frac{R}{(3-\Delta_s)^2} - \frac{R}{(n-\Delta_p)^2} \quad (n \geq 3) \\
 \text{锐线系: } \sigma &= \frac{R}{(3-\Delta_p)^2} - \frac{R}{(n-\Delta_s)^2} \quad (n \geq 4) \\
 \text{漫线系: } \sigma &= \frac{R}{(3-\Delta_p)^2} - \frac{R}{(n-\Delta_d)^2} \quad (n \geq 3) \\
 \text{基线系: } \sigma &= \frac{R}{(3-\Delta_d)^2} - \frac{R}{(n-\Delta_f)^2} \quad (n \geq 4)
 \end{aligned} \tag{2}$$

其中 Δ_s 、 Δ_p 、 Δ_d 、 Δ_f 的下标分别表示角动量数， $l=0, 1, 2, 3$ ， R 为里德伯常量。

实验方法

- 光源：实验中的钠原子光谱是用电弧作激发源产生的。具体做法是用碳棒作电弧电极，在其中钻直径3mm、深约2cm的洞，内装存NaCl结晶粉末。用电弧使钠蒸发到弧焰中去，获得钠光谱。
- 摄谱及光谱测量方法。请参阅大学物理实验第一册实验8.2.2。
- 由钠原子光谱确定各光谱项值及能量值，量子缺 Δ 。

1) 光谱项值的确定：由测得的同一线系各光谱线的波数分别为

$$\sigma_n = \sigma_\infty - R/(n-\Delta)^2 \quad (3)$$

$$\sigma_{n+1} = \sigma_\infty - R/(n+1-\Delta)^2 \quad (4)$$

相邻谱线的波数差

$$\Delta\sigma = \sigma_{n+1} - \sigma_n = R/(n-\Delta)^2 - R/(n+1-\Delta)^2 = R/n^2 - R/(n^*+1)^2 \quad (5)$$

按上式可由相邻谱线的波数差求得 n^* ，由此可求出各光谱项

$$T(n) = R/n^2 = \frac{R}{(n-\Delta)^2} \quad (6)$$

的值。由

$$\sigma_\infty = \sigma_n + R/n^2 = \sigma_n + T(n) \quad (7)$$

又可求出各线系的 σ_∞ 值。

由式(5)直接解出 n^* 值比较繁，一般利用插值表。

2) 由光谱项确定能级：基态能级为

$$E = -\sigma_\infty hc \quad (8)$$

其他各激发态能级

$$E_n = -hcT(n) = hc(\sigma_n - \sigma_\infty) \quad (9)$$

因此，由主线系、锐线系、漫线系、基线系可以分别写出np态、ns态、nd态和nf态各能级。

3) 确定主量子数和量子缺：在每一线系中，计算相邻两条谱线的波数差，由插值表可求出相应的m和a，再由 $n-\Delta = m+a$ 求出量子缺 Δ 和n。或者由氢原子 $T = R/n^2$ 再较高能级 (n大) 时，钠原子与氢原子的能量相等，定出n再由n及 n^* 求出 Δ ， $\Delta = n^* - n$ 。

实验内容

- 根据钠光谱主线系，钠的共振线(589nm, 596nm)在谱板中的位置，拟定摄谱计划拍摄钠的主线系、锐线系、漫线系波长在285nm-617nm范围内的7对谱线。
- 在映谱仪下识别底片上的Na光谱、C光谱，及其附近的Fe谱线，利用标准Fe光谱图粗略的测出Na光谱的波长，并根据Na光谱谱线特征，鉴别各谱线所属线系。
- 根据上述计算得到的钠光谱波长，计算Na原子相关能级的量子缺。(计算量子缺的方法，请参阅“大学物理实验”第二册，第一版或第二版，“钠原子光谱”实验)。
- 根据谱板上表识的标准Fe谱线，利用阿贝比长仪测量Fe谱线与其附近的Na光谱谱线间距离，并应用线性插入法计算相关Na光谱谱线的波长。
- 通过拍摄钠光谱，学习用光栅摄谱仪拍摄钠光谱的实验方法。从所摄得的钠光谱图中分析钠原子光谱，求出各谱线波长，从而定出钠原子的若干激发态的能级。

- 石英棱镜摄谱仪和光栅摄谱仪都可用于拍摄钠光谱。常用WPS-II型半米光栅摄谱仪，二级光谱工作波段230nm~350nm，仪器焦距0.5m，使用二级闪烁波长300nm，1200条/mm的光栅，线色散率一级光谱为 1.65×10^{-6} ，二级光谱为 8×10^{-7} ，对一级光谱，一次摄谱全长为200nm。
- 拍摄钠光谱和作比较用的Fe光谱
 - (1) 栅位的选择：采用一级光谱拍摄钠光谱，为拍摄可见区及紫外区钠原子各线系的谱线（616nm~282nm），需要转动光栅，改变入射角，选择栅位分段拍摄不同范围的光谱。由于谱线重叠，在一级可见光谱范围内可同时拍摄到钠的二级紫外区的谱线。因此，在选择栅位后应事先估计拍一级光谱时可能重叠的二级光谱线。
 - (2) 焦距及狭缝倾斜选择：选好栅位后，调节焦距找到谱线聚焦的最佳位置，调节狭缝倾斜位置使谱线与谱面垂直。
 - (3) 用哈德曼光阑拍摄钠光谱和作比较用的铁光谱
 - 当用WPS-II型半米光栅摄谱仪时，狭缝全高为10nm，狭缝前备有转盘式的哈德曼光阑（图4.5.2-2）、阶梯减光板及其他限制狭缝高度的光阑。其中两套哈德曼光阑各有九个方孔，每个高1.6mm，分别处于不同的半径上，与中心的距离依次改变，用1、3、4、6、7、9、258标记。其中258表示第2、5、8三个方孔处于同一半径上，只是与中心距离各不相同。



- 2、5、8三孔能在光谱全高度上同时截取三段0.6mm高的谱线，实验中利用它一次能拍下三条铁谱。用1、3、4、6、7、9分别拍摄钠光谱。因此不改变暗盒的位置即可先后拍下九条可供比较用的光谱。
- 由于钠光谱各线系的谱线强度不同，为使各条谱线感光适中，要选择不同的曝光时间分别拍摄上述各条光谱。
- 在拍摄钠的共振线（黄线）时有自吸现象。即原子在高温时被激发，发射某一波长的谱线，而在边缘部位处于低温状态下的同一元素的原子能吸收这一波长的辐射。如果电弧中钠的含量较高，在底片上就会有强烈的背景，而其中模糊的共振吸收线无法辨认。为此用含钠很低的炭棒作电极，下电极不加NaCl而用拍摄钠光谱时用过的上电极炭棒，上面残存的微量钠元素已足以得到相当强的共振线。
- 测量钠原子谱线
 - 在映谱仪下识别钠原子的光谱，并按不同谱线进行分类。利用标准铁谱图分别测量或用线性插入法计算钠谱线的波长。要求测出7对钠谱线（其中，主线系3对、锐线系2对、漫线系2对）。
- 计算量子缺 Δ
 - 各谱线波长测定后取双线平均值，换算成波数，计算每一线系中相邻两条谱线的波数差，求出量子缺 Δ 。
- 绘制能级图

- 根据计算结果，以波数为单位按比例画出钠原子能级图，并算出各谱线系所对应的能级跃迁和波长。为比较起见，在同一能级上画出主量子数相同的氢原子能级位置，氢原子能级的波数按下式计算

$$\sigma = \frac{R_H}{n^2}$$

也可以用CCD光学多通道分析系统完成摄谱、图像采集与数据处理，具体请参阅大学物理实验第一册（高等教育出版社）实验8.2.2。

实验重点

- 理解碱金属原子光谱的特点和摄谱仪的结构及运行机理，能正确拟定摄谱计划，拍摄和识别钠原子光谱主线系、锐线系、漫线系的谱线。

实验难点

- 根据上述计算得到的钠光谱波长，计算Na原子相关能级的量子缺。
- 思考题
 - 钠原子光谱项中，量子缺产生的原因是什么？它对钠原子能级有何影响？
 - 如何由拍得的光谱辨认各谱线系，并由此确认各谱线的光谱项值和计算量子缺？