

$$B < \frac{1}{2d \times 4 \times 46.7} \text{ T} \cdot \text{m} \quad (24')$$

当 B 不满足式(24')时,相邻两级 σ 成分将会发生重叠,逐渐增大 B 值,将观察到不同谱线的重叠现象,请推导对应各重叠现象时 B 所满足的条件,据此,求出 B 的理论值,并与实验值比较.

(3) 用塞曼分裂计算电子荷质比 $\frac{e}{m}$

选择适当的励磁电流(如 3 A),用相机拍摄 546.1 nm 谱线塞曼分裂的 π 成分,测量底片上(K-3)及(K-4)级圆环直径,计算 $\frac{e}{m}$.

3. 平行于磁场方向观察塞曼分裂

抽出磁铁心,沿磁场方向观察 σ 线. 用偏振片与 1/4 波片鉴别 σ 成分中的左旋圆偏振光和右旋圆偏振光,并确定 $\Delta M = +1$ 和 $\Delta M = -1$ 的跃迁与它们的对应关系.

提示:必须先区分哪 6 个环为同一级,再确定同一级的内环、外环及它们与 $\Delta M = +1$ 和 $\Delta M = -1$ 跃迁的对应关系. 实验过程中要注意观察内环、外环的消失.

4. 研究性内容

(1) 应用观察相邻两级 σ 成分重叠法,设计实验方案测量电子的荷质比;并再设计 3 种以上的其他方法测量电子的荷质比.

(2) 研究应用塞曼效应实验获得原子内部能级结构的方法.

(3) CCD 光学多通道分析系统的使用

CCD 光学多通道分析系统已在第一册实验 8.2.2 中阐述,请参阅. 此时的塞曼效应实验装置图,如图 3.1-6 所示,调整实验装置,完成上述各项实验内容,并直接在微机显示屏上进行测量和利用微机中的软件完成计算.

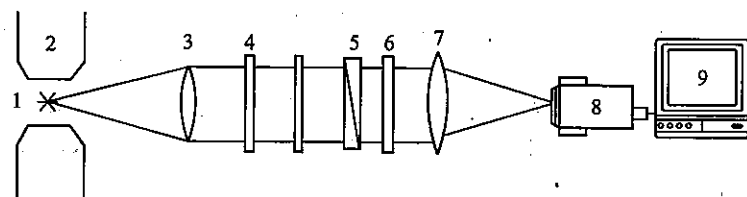


图 3.1-6 具有 CCD 光学多通道分析系统的塞曼效应实验装置图

1—光源;2—电磁铁;3—透镜 L_1 ;4—法布里-珀罗标准具;5—偏振片;
6—干涉滤色片 F;7—成像透镜 L_2 ;8—CCD 摄像机;9—接口与微机

思考题

1. 如何鉴别 F-P 标准具的两反射面是否严格平行,如发现不平行应该如何调节? 例如,当眼睛向某方向移动,观察到干涉纹从中心冒出来,应如何调节?

2. 已知标准具间隔圈厚度 $d = 5 \text{ mm}$,该标准具的自由光谱范围是多大? 根据标准具自由光谱范围及 546.1 nm 谱线在磁场中的分裂情况,对磁感应强度 B 有何要求? 若磁感应强度 B 达到 0.62 T,分裂谱线中哪几条将会发生重叠?

3. 沿着磁场方向观察, $\Delta M = +1$ 和 $\Delta M = -1$ 的跃迁各产生哪种圆偏振光? 试用实验现象说明之.

(霍剑青)

实验 3.2 同位素光谱——氘原子光谱

自然界中的许多元素都存在同位素,它们的原子核具有相同数量的质子,但中子数不同. 反映在谱线上,同位素所对应的谱线发生位移,这种现象称为同位素移位. 同位素移位的大小与核质量有密切关系,核质量越轻,移位效应越大. 因此,氢同位素具有最大的同位素移位. 1932 年尤莱(Urey)根据里德伯常量随原子核质量变化的理论,用蒸发液氢的方法获得重氢含量较高的氢和重氢混合物,然后对其莱曼线系进行了摄谱分析,发现氢原子光谱中每条线都是双线. 通过波长测量并与假定的重氢核质量所得的双线波长相比较,实验值与理论值符合得很好,从而确定了氢的同位素——氘(D)的存在. 本实验以氘原子光谱为研究对象,研究获得同位素光谱的实验方法、分析方法及其在微观测量中的应用.

实验原理

1. 原理

根据玻尔理论,原子的能量是量子化的,即具有分立的能级. 当电子从高能级跃迁到低能级时,原子释放出能量,并以电磁波形式辐射. 氢和类氢原子的巴耳末线系对应光谱线波数为

$$\sigma = \frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^3 c \left(1 + \frac{m_e}{m_z}\right)} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (1)$$

其中 m_z 为原子核质量, m_e 为电子质量, e 为电子电荷, h 为普朗克常量, ϵ_0 为真空介电常量, c 为光速, Z 为原子序数. 因此类氢原子的里德伯常量可写成

$$R_z = \frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^3 c} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{m_e}{m_z}\right)} \quad (2)$$

若 $m_z \rightarrow \infty$, 即假定原子核不动, 则有

$$R_\infty = \frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^3 c} \quad (3)$$

因此

$$R_z = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{m_z}} \quad (4)$$

由此可见, R_z 随原子核质量 m_z 变化, 对于不同的元素或同一元素的不同同位素 R_z 值不同. m_z 对 R_z 影响很小, 因此氢和它的同位素的相应波数很接近, 在光谱上形成很难分辨的双线或多线.

设氢和氘的里德伯常量分别为 R_H 和 R_D , 则氢、氘光谱线的波数 σ_H 、 σ_D 分别为

$$\sigma_H = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \quad (5)$$

$$\sigma_D = R_D \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \quad (6)$$

氢和氘光谱相应的波长差为

$$\Delta\lambda = \lambda_H - \lambda_D = \lambda_H \left(1 - \frac{\lambda_D}{\lambda_H} \right) = \lambda_H \left(1 - \frac{\sigma_H}{\sigma_D} \right) = \lambda_H \left(1 - \frac{R_H}{R_D} \right) \quad (7)$$

因此, 通过实验测得氢和氘的巴耳末线系的前几条谱线的谱长及其波长差, 可求得氢与氘的里德伯常量 R_H 、 R_D .

根据式(4)有

$$R_H = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{m_H}} \quad (8)$$

$$R_D = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{m_D}} \quad (9)$$

其中 m_H 和 m_D 分别为氢和氘原子核的质量. 式(8)除以式(9), 得

$$\frac{R_D}{R_H} = \frac{1 + \frac{m_e}{m_H}}{1 + \frac{m_e}{m_D}} \quad (10)$$

从式(10)可解出 $\frac{m_D}{m_H}$

$$\frac{m_D}{m_H} = \frac{\frac{R_D}{R_H}}{1 - \frac{m_H}{m_e} \left(\frac{R_D}{R_H} - 1 \right)} \quad (11)$$

式中 $\frac{m_H}{m_e}$ 为氢原子核质量与电子质量比, 公认值为 1 836. 151 5. 因此将通过实验测得

的 λ_H 和 λ_D 和由式(7)得到的 $\frac{R_D}{R_H}$ 代入式(11), 可求得氘与氢原子核的质量比 $\frac{m_D}{m_H}$.

从前面的讨论中可以看到, 光谱测量得到的数据往往有较多的有效数字, 因而在现代测量中起着重要的作用.

2. 实验方法

实验中, 用氢氘放电管作为光源, 用摄谱仪拍摄光谱, 氢氘放电管是将氢气和氘气充入同一放电管中, 当一定的高压加在放电管两极上时, 管内的游离电子受到电场作用飞向阳极, 并因此获得愈来愈大的动能. 当它们与管中的氢、氘分子碰撞时, 使氢氘分子离解为氢原子和氘原子, 并进入激发状态, 当它们回到低能级时产生光辐射.

测量谱线波长采用线性插入法. 其基本原理与方法请参阅第一册实验 8. 2. 2.

在现代光谱实验中, 也常采用 CCD 光学多通道分析系统, 与多功能光栅摄谱仪一起完成摄谱、图像处理、图像分析与数据处理. 有关原理与方法亦请参阅第一册实验 8. 2. 2.

实验内容

1. 熟悉仪器的结构、各调节旋钮的作用及仪器的特性参数

(1) 根据分光方式不同, 摄谱仪可分为光栅摄谱仪和棱镜摄谱仪两类, 它们都可用于拍摄氘光谱. 有关摄谱仪的结构原理和仪器的特性参数, 请参阅第一册实验 8. 2. 2 的附录和使用说明书.

WSP-1 型两米光栅摄谱仪的特性参数如下: 工作波段为 200 ~ 800 nm, 仪器焦距 1 800 mm, 拍摄氢氘光谱使用一级闪烁波长 500 nm、1 200/mm 的光栅, 仪器一级光谱线色散率的倒数为 4.5×10^{-7} , 谱面全长 240 mm, 因此一次摄谱范围为 108 nm.

(2) 氢氘放电管, 摄谱仪的光源, 由调压变压器和霓虹灯变压器点燃.

(3) 映谱仪, 又称光谱投影仪, 是放大光谱底板的仪器, 主要用于光谱谱线测量.

(4) 阿贝比长仪, 是阿贝设计的精密计量仪器, 用于长度精密测量, 在本实验用作测量谱线间的距离. 由前面的讨论可知, 氢、氘谱线相应波长相差很小, 差别在第 5 位有效数字以后, 实验中用的阿贝比长仪应能读出 6 位以上的有效数字. 阿贝比长仪的原理和使用方法请参阅第一册实验 3.1.1.

2. 设计实验方案用哈德曼光阑在底片上并列拍摄氢氘光谱和铁光谱

为了拍摄氢氘光谱及作比较用的铁光谱, 首先要拟订摄谱计划. 选定合适的暗盒位置、光栅位置(转角)、狭缝宽度、焦距、狭缝倾斜度, 选用光阑、滤波片、曝光时间、曝光方式等, 以便拍摄时按计划进行. 现将选择上述条件的主要根据阐述如下:

(1) 栅位选择, 实验采用一级光谱拍摄氢氘光谱, WSP-1 型两米光栅摄谱仪一次摄谱全长为 108 nm, 为了拍摄前 4 条氢氘巴耳末线系的光谱(400 nm ~ 656.2 nm), 需要转动光栅, 选择两个光栅转角分段拍摄不同范围的光谱.

(2) 滤波片的选择, 由光栅方程 $d(\sin i + \sin \beta) = k\lambda$ 可知, 一级衍射光谱与二级、三级的谱线重叠, 如

$$1 \times 600 \text{ nm} = 2 \times 300 \text{ nm} = 3 \times 200 \text{ nm}$$

即一级光谱的 600 nm 和二级光谱的 300 nm, 三级光谱的 200 nm 重叠. 光谱的重叠往往会造成读谱的困难, 因此在拍摄铁光谱时必须加光谱滤色片, 以便滤掉干扰波段.

(3) 曝光时间的选择, 由于各种元素或同位素的各条谱线强度有很大差别, 为使每条谱线都有便于观察的像, 应使用不同的曝光时间分别拍摄.

3. 在映谱仪下利用标准铁光谱图识别底片上氢氘光谱及其附近的铁谱线, 粗略地测出氢、氘谱线的波长.

4. 用阿贝比长仪精密测量谱线间的距离, 以线性插入法计算氢、氘各条光谱线的波长, 并计算各谱线的里德伯常量, 求 R_H 、 R_D 的平均值.

5. 根据实验测得的 λ_H 和 λ_D 计算氘和氢原子核的质量比 $\frac{m_D}{m_H}$, 并分析误差的主要来源, 设法修正之.

6. 研究性内容

(1) 研究 CCD 光学多通道分析系统软、硬件的运行机理, 并拟定摄谱计划完成摄谱、图像采集与数据处理. 计算氢、氘里德伯常量 R_H 、 R_D 的平均值.

(2) 讨论谱线展宽的机理.

思考题

1. 画出氢原子巴耳末线系的能级图, 并标出前 4 条谱线对应的能级跃迁和波长数.

2. 为什么把氢、氘与铁的光谱并列拍摄在一张底片上时不用移动底片盒的方法, 而是使用哈德曼光阑?

3. 用 WSP-1 型两米光谱摄谱仪拍摄一级光谱时, 需选择两个光栅转角分段拍摄前 4 条氢氘巴耳末线系(410 ~ 660 nm)的光谱, 试给出一种方案, 设计相应的光栅转角.

4. 在计算 R_H 、 R_D 时, 应该以真空中的波长代入公式计算, 但是, 实验中的测量是在空气中进行的, 铁光谱图上所标也是空气中的波长. 空气的折射率为 $n = 1.00029$, 应作修正, 并将修正后的 R_H 、 R_D 值与公认值比较.

(霍剑青)

实验 3.3 卢瑟福散射实验

卢瑟福散射实验是近代物理科学发展史中最重要的实验之一. 在 1897 年汤姆孙测定电子的比荷, 提出了原子模型, 他认为原子中的正电荷分布在原子空间, 即在一个半径 $R \approx 10^{-10} \text{ m}$ 区间, 电子则嵌在布满正电荷的球内. 电子处在平衡位置上做简谐振动, 从而发出特定频率的电磁波. 简单的估算可以给出辐射频率约在紫外和可见光区, 因此能定性地解释原子的辐射特性. 但是很快卢瑟福(E. Rutherford)等人的实验否定了这一模型. 1909 年卢瑟福和他的助手盖革(H. Geiger)及学生马斯登(E. Marsden)在做 α 粒子和铂箔散射实验时观察到绝大部分 α 粒子几乎是直接穿过铂箔, 但偶然有大约 $\frac{1}{800}$ 的 α 粒子发生散射, 散射角大于 90° . 这一实验结果当时在英国被公认的汤姆孙原子模型根本无法解释. 在汤姆孙模型中正电荷分布于整个原子, 根据对库仑力的分析, α 粒子离球心越近, 所受库仑力越小, 而在原子外, 原子是中性的, α 粒子和原子间几乎没有相互作用力. 在球面上库仑力最大, 也不可能发生大角度散射. 卢瑟福等人经过两年的分析, 于 1911 年提出原子的核式模型, 原子中的正电荷集中在原子中心很小的区域内, 而且原子的全部质量也集中在这个区域内. 原子核的半径近似为 10^{-15} m , 约为原子半径的十万分之一. 卢瑟福散射实验确立了原子的核式结构, 为现代物理的发展奠定了基石.

本实验通过卢瑟福核式模型, 说明 α 粒子散射实验, 验证卢瑟福散射理论; 并学习应用散射实验研究物质结构的方法.

实验原理

现从卢瑟福核式模型出发, 先求 α 粒子散射中的偏转角公式, 再求 α 粒子散射公式.

1. α 粒子散射理论

(1) 库仑散射偏转角公式