

实验 6.4 用杜恩-亨特关系测定普朗克常数

一、实验目的

1. 确定 Mo 阳极 X 光管在不同管电压 U 下谱韧致辐射谱的波长下限 λ_{\min} ;
2. 验证杜恩-亨特关系;
3. 测定普朗克常数。

二、实验原理

X 射线的韧致辐射谱是连续的, 但有一个确定的波长下限 λ_{\min} (见图 1), 会随着管电压的增大而减小。1915 年, 美国科学家杜恩 (*W.Duane*) 和亨特 (*F.L.Hunt*) 发现了波长下限和管电压之间的反比关系:

$$\lambda_{\min} \sim \frac{1}{U} \quad (1)$$

杜恩-亨特关系可以用基本的量子理论予以解释: 电磁波的波长 λ 和频率 ν 之间以下式相关联:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2)$$

$c = 2.9979 \cdot 10^8$ m/s, 波长下限 λ_{\min} 对应于所发射 X 光量子的频率上限 ν_{\max} , 即最大能量:

$$E_{\max} = h \cdot \nu_{\max} \quad (3)$$

h : 普朗克常数。X 光量子的最大能量是在阳极材料中完全获取了高速电子的动能:

$$(4)$$

基本电荷 $e = 1.6022 \cdot 10^{-19}$ A。综合以上各式:

$$\nu_{\max} = \frac{e}{h} \cdot U \quad (5)$$

$$\lambda_{\min} = \frac{h \cdot c}{e} \cdot \frac{1}{U} \quad (6)$$

公式 (6) 即杜恩-亨特关系。比例系数中 c 和 e 已知, 可以求出普朗克常数。

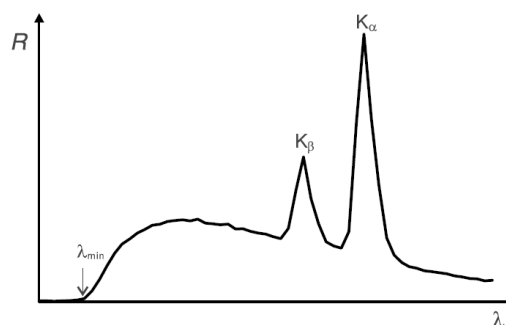


图 1 X 光管带波长下限 λ_{\min} 的韧致辐射谱和


杜恩-亨特关系

三、实验内容与步骤

3.1 仪器设置

本实验中仪器以 NaCl 晶体布拉格反射形式设置, 具体搭建步骤见“布拉格反射”实验。



3.2 实验步骤

1. 运行“X-ray Apparatus”程序, 检查确认 X 光机连接正常, 按 F4 键或点击  清除已有数据;
2. 在 X 光机上设置: 管电压 $U = 22\text{keV}$, 发射电流 $I = 1.00\text{mA}$, 测量时间间隔 $\Delta t = 30$ s, 角步幅 $\Delta\beta = 0.1^\circ$;
3. 按“COUPLED”键, 确定传感器和靶转角的 2 倍耦合关系, 再按“ β LIMITS”键, 设置靶转角下限为 5.2, 上限为 6.2;

- 按“SCAN”键开始测量，传输数据至 PC；
- 分别按照表 1 给出参数，分别设置管电压 $U=24\text{ kV}$, 26 kV , 28 kV , 30 kV , 32 kV , 34 kV 和 35 kV ，重复测量其布拉格衍射局部图，不同管电压所对应的曲线记录在同一幅图上。

表 1 建议设置的测量参数及计算结果

U (kV)	I (mA)	Δt (s)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	$\Delta\beta$ (°)	λ_{\min} (pm)
22	1.00	30	5.2	6.2	0.1	
24	1.00	30	5.0	6.2	0.1	
26	1.00	20	4.5	6.2	0.1	
28	1.00	20	3.8	6.0	0.1	
30	1.00	10	3.2	6.0	0.1	
32	1.00	10	2.5	6.0	0.1	
34	1.00	10	2.5	6.0	0.1	
35	1.00	10	2.5	6.0	0.1	

- 要显示 R 与波长 λ 关系，按 F5 或点击 ，打开“Settings”对话框，选择输入 NaCl 晶面间距参数；
- 实验完成后，点击  或按 F2 键，保存数据。

四、数据处理

4.1 确定不同管电压下的韧致辐射波长下限 λ_{\min} ：

在实验结果所记录的每一条布拉格衍射局部曲线（见图 4）上，进行如下操作：

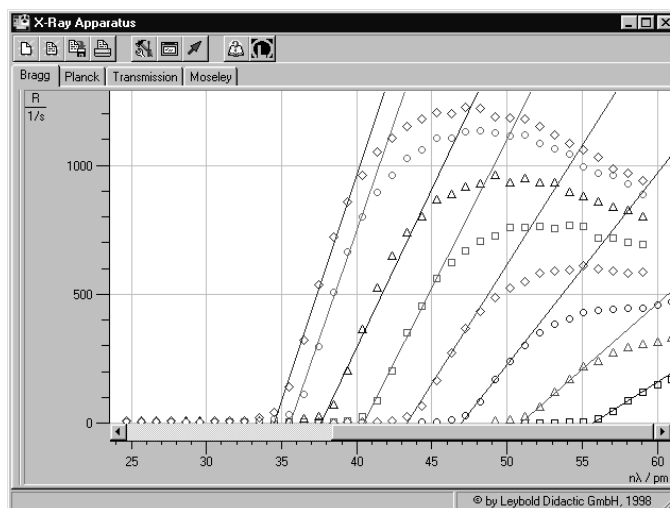



图 4 不同管电压下局部 X 射线衍射图及其线性拟合

- 点击鼠标右键，在弹出窗口中选择“Best-fit Straight Line”命令；
- 在曲线上用鼠标左键拖动选取韧致辐射边缘计数率开始上升部分的数据点，进行最佳线性拟合，计算出对应的 λ_{\min} ，计算结果显示于左下角“状态栏”中；
- 点击  或按 F2 键，保存结果。

4.2 验证杜恩—亨特关系，测定普朗克常数：

- 进一步的计算，在软件中点击“Planck”选项，前述步骤中所得的管电压与 λ_{\min} 数

据已保存在这里（见图 5）；

2. 单击鼠标右键，选择弹出窗口命令“Calculate Straight Line through Origin”，点鼠标左键选取所有数据点，对其进行过原点的最佳线性拟合，拟合结果的斜率 A 显示于左下角“状态栏”中，同时计算出普朗克常数 h ；

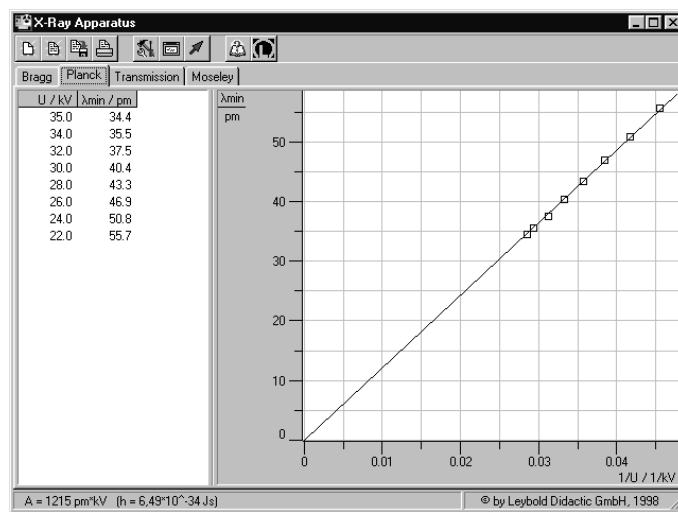


图 5 利用杜恩—亨特关系求普朗克常数

文献值 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ，对实验结果进行评价。