

X 光系列實驗拓展

——驗證康普頓效應

張大鵬

09300190033

復旦大學，物理係，上海

2012 年 6 月 13 日

目錄

- 1 實驗背景
 - 實驗目的
 - 實驗原理
 - 實驗方法
- 2 實驗步驟
- 3 實驗數據與結論
- 4 實驗討論
 - 誤差分析
 - 改進建議
- 5 結束語

實驗目的

實驗目的

- 驗證康普頓散射公式

實驗原理

實驗原理

- 康普頓效應

實驗原理

- 康普頓效應
 - 短波電磁波（如 X 射綫， γ 射綫）射入物質而被散射後，出現波長增加的成分的現象。

實驗原理

- 康普頓效應

- 短波電磁波（如 X 射綫， γ 射綫）射入物質而被散射後，出現波長增加的成分的現象。
- 康普頓散射公式

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta)$$

實驗方法

實驗方法

- 問題：如何確定入射和出射的 X 射線的波長？

實驗方法

- 問題：如何確定入射和出射的 X 射綫的波長？
- 利用吸收係數和波長的關係！不同波長的 X 射綫吸收係數不同，因而透射率也不同。

實驗方法

- 問題：如何確定入射和出射的 X 射線的波長？
- 利用吸收係數和波長的關係！不同波長的 X 射線吸收係數不同，因而透射率也不同。
- 金屬 Cu 的透射率經驗公式

$$T_{Cu} = e^{-a\left(\frac{\lambda}{100pm}\right)^n}$$

式中 $a = 7.6$, $n = 2.75$

實驗方法

實驗方法

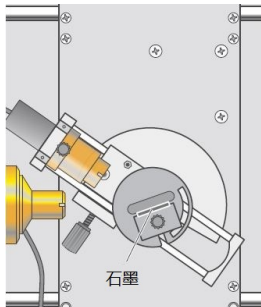


Figure: 測量 R_0

實驗方法

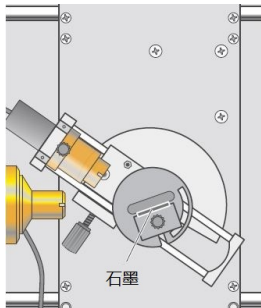


Figure: 測量 R_0

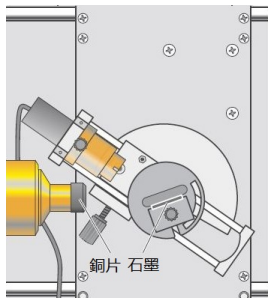


Figure: 測量 R_1

實驗方法

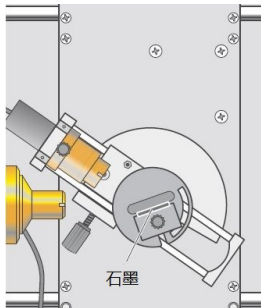


Figure: 測量 R_0

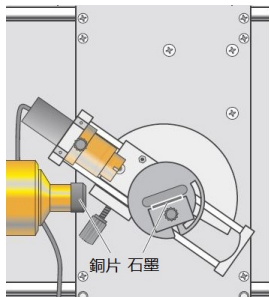


Figure: 測量 R_1

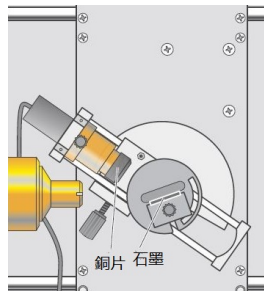


Figure: 測量 R_2

實驗方法

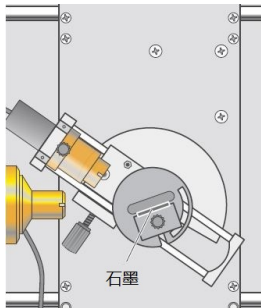


Figure: 測量 R_0

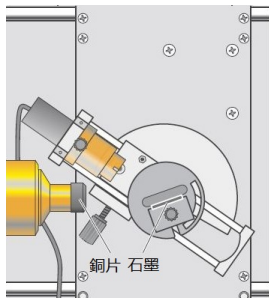


Figure: 測量 R_1

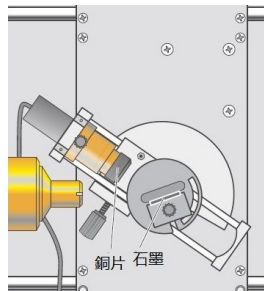


Figure: 測量 R_2

將電流 I 設為 0，並取下銅片測量空間中的本底 R 。

實驗方法

實驗方法

- 透射率

實驗方法

- 透射率

$$T_1 = \frac{R_1 - R}{R_0 - R} \quad T_2 = \frac{R_2 - R}{R_0 - R}$$

實驗方法

- 透射率

$$T_1 = \frac{R_1 - R}{R_0 - R} \quad T_2 = \frac{R_2 - R}{R_0 - R}$$

- 利用

$$T_{Cu} = e^{a\left(\frac{\lambda}{100\text{pm}}\right)^n}$$

得到

實驗方法

- 透射率

$$T_1 = \frac{R_1 - R}{R_0 - R} \quad T_2 = \frac{R_2 - R}{R_0 - R}$$

- 利用

$$T_{Cu} = e^{a\left(\frac{\lambda}{100pm}\right)^n}$$

得到

$$\Delta\lambda = 100pm \cdot \left[\left(\frac{\ln \frac{R_0 - R}{R_2 - R}}{a} \right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{\ln \frac{R_0 - R}{R_1 - R}}{a} \right)^{\frac{1}{n}} \right]$$

實驗步驟及參數

實驗步驟及參數

- 高壓 $U = 35.0kV$
- 電流 $I = 1.00mA$

實驗步驟及參數

- 高壓 $U = 35.0kV$
- 電流 $I = 1.00mA$
- TARGET=35.0°
- SENSOR=90° ~ 135°
- 步長 $\Delta\beta = 5^\circ$

實驗步驟及參數

- 高壓 $U = 35.0kV$
- 電流 $I = 1.00mA$
- TARGET=35.0°
- SENSOR=90° ~ 135°
- 步長 $\Delta\beta = 5^\circ$
- 時間 $\Delta t = 150s$

實驗步驟及參數

- 高壓 $U = 35.0kV$
- 電流 $I = 1.00mA$
- TARGET=35.0°
- SENSOR=90° ~ 135°
- 步長 $\Delta\beta = 5^\circ$
- 時間 $\Delta t = 150s$
- 把銅片安裝在正確的位置開始掃描

石墨的康普頓散射

石墨的康普頓散射

θ	R_0	R_1	R_2	R	T_1	T_2
90	33.73	8.49	7.68	0.30	0.245	0.221
95	33.29	8.41	6.78	0.26	0.247	0.197
100	34.81	8.77	6.67	0.27	0.246	0.185
105	34.76	8.71	6.74	0.28	0.244	0.187
110	36.67	9.1	6.93	0.21	0.244	0.184
115	37.84	8.94	7.03	0.27	0.231	0.180
120	38.62	9.42	7.25	0.26	0.239	0.182
125	40.23	9.98	7.41	0.24	0.243	0.179
130	41.51	10.39	7.64	0.32	0.244	0.178
135	43.27	10.86	8.07	0.26	0.246	0.182

波長差和相對誤差

波長差和相對誤差

θ	$\Delta\lambda$	理論值	誤差
90	1.42	2.43	-41.37%
95	2.99	2.64	13.08%
100	3.75	2.85	31.46%
105	3.52	3.06	15.05%
110	3.69	3.26	13.03%
115	3.22	3.46	-6.72%
120	3.54	3.65	-2.95%
125	4.01	3.82	4.93%
130	4.17	3.99	4.56%
135	4.02	4.15	-3.07%

誤差分析

誤差分析

- 在較大的角度附近 ($115^\circ \sim 135^\circ$)，誤差都是比較小的。

誤差分析

- 在較大的角度附近 ($115^\circ \sim 135^\circ$)，誤差都是比較小的。
- 在較小的角度附近 ($90^\circ \sim 115^\circ$)，誤差比較大。

產生誤差的一些原因

產生誤差的一些原因

- 時間比較短！是說明書上推薦的 600s 的 $\frac{1}{4}$ 。

產生誤差的一些原因

- 時間比較短！是說明書上推薦的 600s 的 $\frac{1}{4}$ 。
- 石墨表面的漫反射。

產生誤差的一些原因

- 時間比較短！是說明書上推薦的 600s 的 $\frac{1}{4}$ 。
- 石墨表面的漫反射。
- 這種實驗方法並不能從根本上識別波長。

產生誤差的一些原因

- 時間比較短！是說明書上推薦的 600s 的 $\frac{1}{4}$ 。
- 石墨表面的漫反射。
- 這種實驗方法並不能從根本上識別波長。
- 透射率與波長的關係中的係數需要實驗測量。

產生誤差的一些原因

- 時間比較短！是說明書上推薦的 600s 的 $\frac{1}{4}$ 。
- 石墨表面的漫反射。
- 這種實驗方法並不能從根本上識別波長。
- 透射率與波長的關係中的係數需要實驗測量。
- 一個不太容易被驗證的假設：X 射綫在石墨中經歷了不止一次的散射。

存在的問題

存在的問題

- 以 $\text{SENSOR} = 135^\circ$ 的數據為例

存在的問題

- 以 $\text{SENSOR} = 135^\circ$ 的數據為例
 $T_1 = 0.246$

存在的問題

- 以 $\text{SENSOR} = 135^\circ$ 的數據為例

$$T_1 = 0.246 \rightarrow \lambda = 100 \text{ pm} \cdot \left(-\frac{1}{a} \ln T_1\right)^{\frac{1}{n}} = 54.1 \text{ pm}$$

存在的問題

- 以 $\text{SENSOR} = 135^\circ$ 的數據為例
$$T_1 = 0.246 \rightarrow \lambda = 100\text{pm} \cdot \left(-\frac{1}{a} \ln T_1\right)^{\frac{1}{n}} = 54.1\text{pm}$$
- 鉬的特徵譜

存在的問題

- 以 $\text{SENSOR} = 135^\circ$ 的數據為例
$$T_1 = 0.246 \rightarrow \lambda = 100\text{pm} \cdot \left(-\frac{1}{a} \ln T_1\right)^{\frac{1}{n}} = 54.1\text{pm}$$
- 鉬的特徵譜
$$\lambda_\alpha = 63.2\text{pm}, \lambda_\beta = 71.1\text{pm}$$

存在的問題

- 以 $\text{SENSOR} = 135^\circ$ 的數據為例
$$T_1 = 0.246 \rightarrow \lambda = 100\text{pm} \cdot \left(-\frac{1}{a} \ln T_1\right)^{\frac{1}{n}} = 54.1\text{pm}$$
- 鉬的特徵譜
$$\lambda_\alpha = 63.2\text{pm}, \lambda_\beta = 71.1\text{pm}$$
- 並沒有這種波長的 X 射綫！

改進建議

改進建議

- 用 NaCl 晶體的衍射實際測量 Cu 的透射率以精確的確定其中的參數 a 和 n 。

改進建議

- 用 NaCl 晶體的衍射實際測量 Cu 的透射率以精確的確定其中的參數 a 和 n 。
或者確定一個 Cu 的透射率與波長的關係 $T(\lambda)$

改進建議

- 用 NaCl 晶體的衍射實際測量 Cu 的透射率以精確的確定其中的參數 a 和 n 。
或者確定一個 Cu 的透射率與波長的關係 $T(\lambda)$
- 用 Zr 濾光片將入射 X 光過濾掉 K_{α} 綫，從而近似認為是單色光。

改進建議

- 用 NaCl 晶體的衍射實際測量 Cu 的透射率以精確的確定其中的參數 a 和 n 。
或者確定一個 Cu 的透射率與波長的關係 $T(\lambda)$
- 用 Zr 濾光片將入射 X 光過濾掉 K_{α} 綫，從而近似認為是單色光。這樣也就不再需要測量 R_1 了。

另一種方法

另一種方法

- 前提：已知或有辦法測量入射 X 射線能量的波長分佈 $f(\lambda)$ 。

另一種方法

- 前提：已知或有辦法測量入射 X 射線能量的波長分佈 $f(\lambda)$ 。
- 利用 NaCl 衍射測量 Cu 的透射率與波長的關係 $T(\lambda)$ 。

另一種方法

- 前提：已知或有辦法測量入射 X 射線能量的波長分佈 $f(\lambda)$ 。
- 利用 NaCl 衍射測量 Cu 的透射率與波長的關係 $T(\lambda)$ 。
- 測量得到的透射率應該為

$$T = \frac{\int_0^{\infty} T(\lambda)f(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\infty} f(\lambda)d\lambda} = \int_0^{\infty} T(\lambda)f(\lambda)d\lambda$$

另一種方法

- 前提：已知或有辦法測量入射 X 射線能量的波長分佈 $f(\lambda)$ 。
- 利用 NaCl 衍射測量 Cu 的透射率與波長的關係 $T(\lambda)$ 。
- 測量得到的透射率應該為

$$T = \frac{\int_0^{\infty} T(\lambda)f(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\infty} f(\lambda)d\lambda} = \int_0^{\infty} T(\lambda)f(\lambda)d\lambda$$

- 康普頓波長位移 $\Delta\lambda$ 只與角度 θ 有關，而與波長 λ 無關。

另一種方法

- 前提：已知或有辦法測量入射 X 射線能量的波長分佈 $f(\lambda)$ 。
- 利用 NaCl 衍射測量 Cu 的透射率與波長的關係 $T(\lambda)$ 。
- 測量得到的透射率應該為

$$T = \frac{\int_0^{\infty} T(\lambda)f(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\infty} f(\lambda)d\lambda} = \int_0^{\infty} T(\lambda)f(\lambda)d\lambda$$

- 康普頓波長位移 $\Delta\lambda$ 只與角度 θ 有關，而與波長 λ 無關。
- 所以某角度 θ 處，能量的波長分佈為 $f'(\lambda, \theta) = f(\lambda + \Delta\lambda)$ 。

另一種方法

- 前提：已知或有辦法測量入射 X 射線能量的波長分佈 $f(\lambda)$ 。
- 利用 NaCl 衍射測量 Cu 的透射率與波長的關係 $T(\lambda)$ 。
- 測量得到的透射率應該為

$$T = \frac{\int_0^{\infty} T(\lambda)f(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\infty} f(\lambda)d\lambda} = \int_0^{\infty} T(\lambda)f(\lambda)d\lambda$$

- 康普頓波長位移 $\Delta\lambda$ 只與角度 θ 有關，而與波長 λ 無關。
- 所以某角度 θ 處，能量的波長分佈為 $f'(\lambda, \theta) = f(\lambda + \Delta\lambda)$ 。
- 測量得到的透射率

$$T_2 = \frac{\int_0^{\infty} T(\lambda)f'(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\infty} f'(\lambda)d\lambda} = \int_0^{\infty} T(\lambda)f(\lambda + \Delta\lambda)d\lambda$$

另一種方法

另一種方法

- 這種方法的處理類似於積分變換，但是主要問題在於 $f(\lambda)$ 的確定！

另一種方法

- 這種方法的處理類似於積分變換，但是主要問題在於 $f(\lambda)$ 的確定！
- 初步的想法是可以通過 NaCl 的衍射譜通過衍射的強度分佈公式

另一種方法

- 這種方法的處理類似於積分變換，但是主要問題在於 $f(\lambda)$ 的確定！
- 初步的想法是可以通過 NaCl 的衍射譜通過衍射的強度分佈公式

$$I = \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

來反推 X 射綫的強度分佈。

另一種方法

- 這種方法的處理類似於積分變換，但是主要問題在於 $f(\lambda)$ 的確定！
- 初步的想法是可以通過 NaCl 的衍射譜通過衍射的強度分佈公式

$$I = \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

來反推 X 射綫的強度分佈。

- 這只是一個想法。

謝謝！

Thanks for the attention!