

法拉第效应实验中荷质比计算有关数据处理及一些实验改进方案

廖垠鑫 学号: 08300300049

摘要: 介绍了在法拉第效应实验中荷质比计算有关数据处理, 主要是关于 $dn/d\lambda$ 的求解的方法, 同时提出了一些关于改进该实验的建议。

Abstract: Introduced a method to deal with the data got in the experiment of Faraday Effect to calculate the charge-mass ratio. Especially how to deal with $dn/d\lambda$. Gave some suggestion to improve the experiment.

关键词: 法拉第效应; 荷质比; 波长;

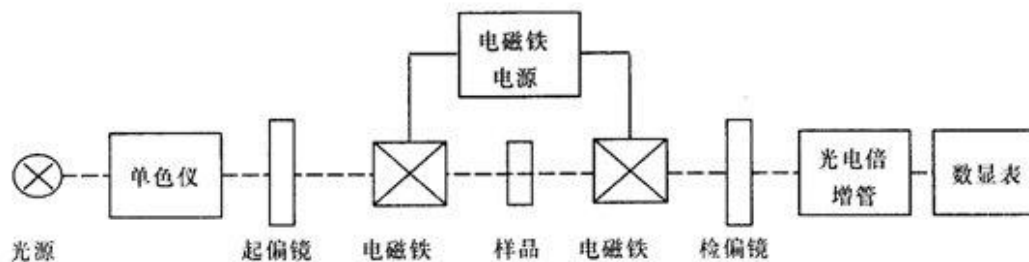
引言:

1845 年, 英国科学家法拉第发现当一束平面偏振光穿过介质时, 若在介质两端加一外磁场时, 光通过介质后, 其振动面会转过一个角度 θ , 这种磁场使介质产生旋光性的现象也随即被称为法拉第效应。¹

现在法拉第效应已经被大多数人所理解, 并进入了大学物理实验的课本, 但在大学物理实验课本中一些相关的计算中采用的计算方式是一种近似的方式, 其本身存在着一定的误差, 本文就根据自己的想法提出一些关于 $dn/d\lambda$ 的求解的见解并提出一些实验改进建议。

理论/实验部分:

实验光路图:



2

实验室提供的样品为ZF3重火石玻璃, 在实验中, 求得了固定入射光波长, 法拉第效应角与磁场强度的关系和固定磁场强度, 法拉第效应角与入射光波长的关系; 同时通过最小偏向角法求得波长和折射率间关系。

结果与讨论:

在大学物理课本中 $dn/d\lambda$ 的求解用的是以下公式:

$$\frac{dn}{d\lambda} = \frac{\cos \frac{\delta_m + A}{2}}{2 \sin \frac{A}{2}} \times \frac{\Delta \delta_m}{\Delta \lambda}$$

其中 δ_m 为在实验中测得的最小偏向角, 可以看到在上式中对于这个导数的求解使用的是复合求导的方法, 由于

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_m + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

则

¹ 引自《近代物理实验》中国科学技术大学出版社 叶柳等编著

² 引自近代物理实验室网站 wiki]

$$\frac{dn}{d\lambda} = \frac{dn}{d\delta_m} \times \frac{d\delta_m}{d\lambda} = \frac{\cos \frac{\delta_m + A}{2}}{2 \sin \frac{A}{2}} \times \frac{d\delta_m}{d\lambda}$$

在课本中采用了 $\frac{\Delta\delta_m}{\Delta\lambda}$ 来代替 $\frac{d\delta_m}{d\lambda}$ ，在小尺度范围内，此举误差不大，可以忽略³。但是由于在实验中测量最小偏向角时使用的是钠灯或者汞灯进行测量，而两者的谱线都不是连续的，造成在实验计算中的 $\frac{\Delta\delta_m}{\Delta\lambda}$ 和 $\frac{d\delta_m}{d\lambda}$ 之间的误差较大，最终影响了实验中最后荷质比的计算。

通过最小偏向角法，我们能把对应波长的折射率求出来。在得到几个 $\lambda - n$ 关系数据点后，通过拟合的方式求得 $\lambda - n$ 关系，然后通过求导来获得 $\frac{dn}{d\lambda}$ 是一种可行的方法。 λ 与 n 之间满足的是柯西色散公式⁴

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}$$

对该公式进行求导后得到：

$$\frac{dn}{d\lambda} = -\frac{2b}{\lambda^3} - \frac{4c}{\lambda^5}$$

则要确定 $\frac{dn}{d\lambda}$ 与 λ 之间的关系，主要在于 b 、 c 两个系数的确定。

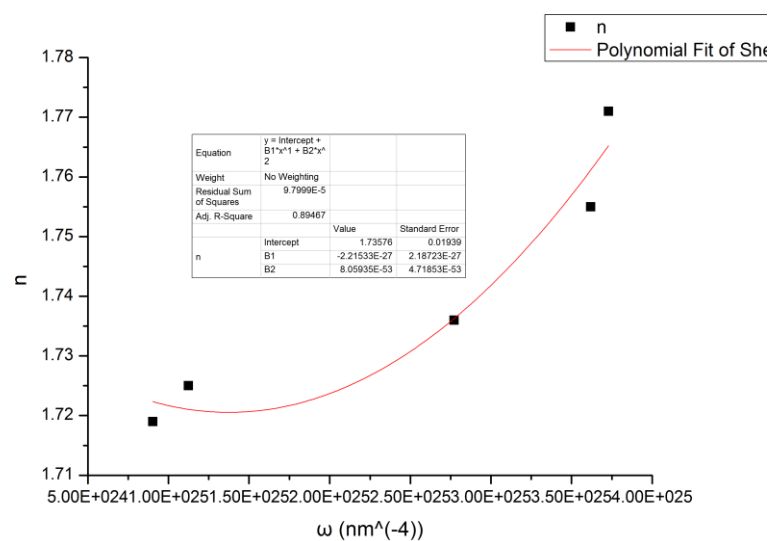
该公式不方便通过现有软件进行拟合，进行一个变换，令一中间变量 $\omega = \frac{1}{\lambda^4}$ ，则上式变为

$$n = a + c\omega + b\omega^2$$

在我的实验中，得到了如下数据：

| | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda/10^{-9}\text{m}$ | 404.66 | 407.70 | 435.85 | 546.07 | 576.96 |
| n | 1.771 | 1.755 | 1.736 | 1.725 | 1.719 |
| $\omega/10^{25}\text{m}^{-4}$ | 3.73 | 3.62 | 2.77 | 1.12 | 0.902 |

拟合曲线如下：



³ 引自《法拉第效应实验中样品介质的色散与波长的关系》 唐山师范学院学报 2005.3 杨慧静 孙立萍

⁴ 引自百度百科，柯西色散公式条

得到拟合曲线方程为

$$n = 1.736 - 2.215 \times 10^{-27} m^4 \omega + 8.059 \times 10^{-53} m^8 \omega^2$$

则

$$\frac{dn}{d\lambda} = -\frac{1.612 \times 10^{-52}}{\lambda^3} + \frac{8.869 \times 10^{-27}}{\lambda^5}$$

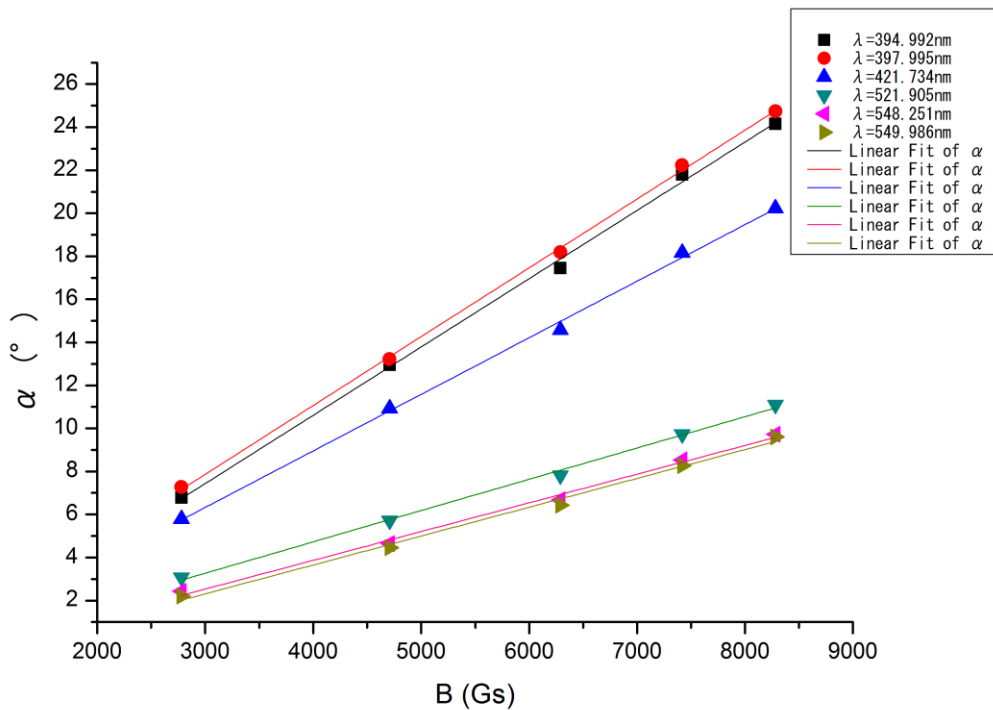
现计算荷质比，得：

| | | | | | | |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\lambda/10^{-9}m$ | 394.992 | 397.995 | 421.734 | 521.905 | 548.251 | 549.986 |
| $\frac{dn}{d\lambda}/10^5$ | 9.22 | 8.88 | 6.65 | 2.29 | 1.79 | 1.76 |

对于菲尔德常数有：

$$V_d = -\frac{e}{2mc} \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

对以上几个波长，其 $\alpha - B$ 拟合直线如下：



得其斜率，即 $\frac{e}{m} \frac{D \frac{dn}{d\lambda} \lambda}{2c}$ 分别为

| | | | | | | |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\lambda/10^{-9}m$ | 394.992 | 397.995 | 421.734 | 521.905 | 548.251 | 549.986 |
| Slope/rad · T ⁻¹ | 0.559 | 0.553 | 0.459 | 0.253 | 0.232 | 0.234 |

通过求得的 $\frac{e}{m}$ 取平均得 $\frac{e}{m} \approx 1.130 \times 10^{11} c/kg$ ，与理论值偏差较大。

对于上述误差产生的原因，总结为以下几点：

- 1、在 $\alpha - B$ 关系测量时，取点较少，且法拉第偏转角 α 变化不大，测量中易产生误差；
- 2、在折射率与波长对应关系测量时，由于汞灯谱线数量有限，造成拟合不准确产生误差；

结论/小结：

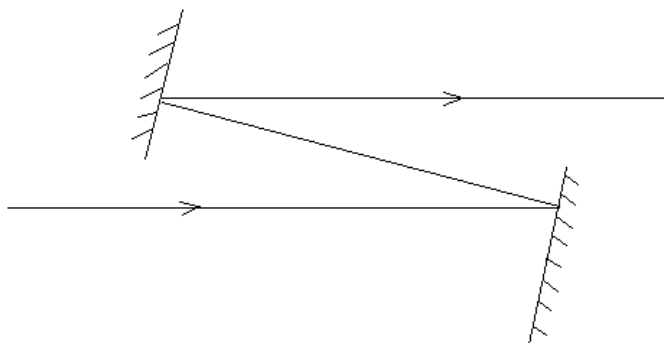
通过上述的计算方式和传统的计算方式进行相比，可以发现上述的计算方式有以下几个优点：

1、在计算时，运用 $\frac{dn}{d\lambda}$ 与 λ 的关系，结合所测出的 $\alpha - B$ 关系来求取荷质比，避免了通过 $\alpha - \lambda$ 关系求对应 α 值的非线性计算，减小了误差；

2、在计算时，避免了使用公式 $\frac{dn}{d\lambda} = \frac{\cos \frac{\delta_m + A}{2}}{2 \sin \frac{A}{2}} \times \frac{\Delta \delta_m}{\Delta \lambda}$ 进行计算，从而避免了近似计算，减小了误差；

针对以上可能造成误差的原因提出对实验改进的建议：

1、在实验的光路中的样品两端增加以下部分：



通过光路在样品中通过的距离的增加来增大法拉第偏转角 α ，则在计算时能够减小测量时的误差，得到更精确的结果。

2、在测量样品的折射率和入射光波长间的关系时，若采用最小偏向角法测量，采用一个分辨率和光强都比较大的分光仪器来作为光源，这样能测得更连续的折射率和入射光波长间的关系，从而增加拟合的准确率，进而减小实验误差，同时还可以采取使用最小偏向角法以外的更精确的测量方式及测量仪器来得到波长与折射率间的关系，减小实验误差。

致谢：

感谢实验搭档刘万鹏在实验过程中的配合及马世红老师及白翠琴老师在实验过程中的指导。

参考文献：

- 1) 《法拉第效应实验中样品介质的色散与波长的关系》 杨慧静 孙立萍著 2005.3 《唐山师范学院学报》
- 2) 《法拉第效应实验装置中光路的设计》 孙 昕等著 2005.3 《物理实验》
- 3) 《近代物理实验》 叶 柳等著 中国科学技术大学出版社
- 4) 《近代物理实验》 张天喆等著 科学出版社
- 5) 《大学物理实验》 吴红玉等编著 浙江大学出版社
- 6) 百度百科 柯西色散公式词条