

法拉第旋光效应荷质比计算的相关问题

朱逸阳

(复旦大学 信息学院 光信息科学与技术专业)

【摘要】: 法拉第旋光效应给出的经验公式为 $\psi = VBL$, 该公式只在磁场较小时适用, 当 B 大到一定程度时公式开始失效, 称此时 B 的大小为磁场极限值。本文主要介绍了利用荷质比的求解精确找出任一条件下磁场极限值的方法。

【关键字】: 法拉第、旋光效应、定标、旋光角、荷质比。

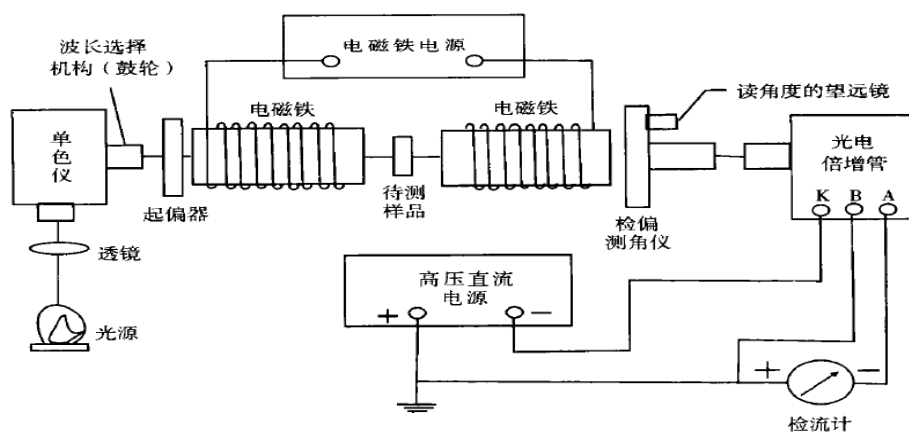
1 引言

法拉第效应于1845年由M.法拉第发现。当线偏振光(见光的偏振)在介质中传播时, 若在平行于光的传播方向上加一强磁场, 则光振动方向将发生偏转, 偏转角度 ψ 与磁感应强度 B 和光穿越介质的长度 L 的乘积成正比, 即 $\psi = VBL$, 比例系数 V 称为费尔德常数, 与介质性质及光波频率有关。偏转方向取决于介质性质和磁场方向, 上述现象称为法拉第效应或磁致旋光效应。近年来, 随着激光、计算机、信息、光纤通信等新技术的发展, 人们对磁光效应的研究和应用不断向深度和广度发展, 从而涌现出许多崭新的磁光材料和磁光器件。 $\psi = VBL$ 是磁光效应中最基本的公式, 但该公式会随着磁场 B 的增大而逐渐失效, 式中 V 为费尔德常数, 微观表达式为 $V = (e\lambda / 2mc) * (dn/d\lambda)$, 容易看到, 式中含有 (e/m) 项, 即电子的荷质比, 通过测量偏转角, 利用样品的色散关系和厚度以及磁场大小即可算出电子的荷质比, 下面主要介绍利用求解荷质比并与标准值比较的方法精确求解公式适用范围的方法。

2 实验过程

实验流程图如下图所示。光源所发出的光经单色仪分光后通过起偏器变为线偏振光, 然后通过待测样品, 再通过另一检偏器后进入光电倍增管, 转化为电信号在数显表上显示, 就可进行读数。

实验中的磁场由导线圈提供, 通过改变流过导线的电流可以得到的不同的磁场, 实验中所能得到的最强磁场约为1T。实验时, 由于读数较大时数显表示数跳动幅度较大, 因此我们将起偏器与检偏器的偏振方向夹角调为90度, 通过寻找光强最弱的点来确定光转过的角度, 此时数显表的读数相对稳定, 便于准确测量。



实验中需要测量样品的色散关系 $dn/d\lambda$ ，利用单色仪及分光计测量多组 $n-\lambda$ 数值，拟合出 $n-\lambda$ 关系曲线后即可得出样品的色散关系 $dn/d\lambda$ 。测得实验中所用介质的色散关系为 $dn/d\lambda = -3.1 \times 10^{-14} / \lambda^3$ ，其中 λ 单位为米。

3 结果与讨论

下表为实验中得到的不同磁场强度下不同波长所对应的磁旋角。

表一

	214	302	390	478	566	654	742	830	918
406.8	0.12	0.17	0.23	0.28	0.30	0.31	0.35	0.37	0.38
423.2	0.10	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31	0.34	0.37	0.38
439.6	0.10	0.16	0.20	0.24	0.27	0.30	0.33	0.35	0.38
445.34	0.10	0.16	0.20	0.22	0.26	0.29	0.31	0.34	0.37
456	0.11	0.15	0.19	0.23	0.26	0.28	0.30	0.33	0.35
488.8	0.10	0.13	0.17	0.19	0.23	0.25	0.27	0.29	0.32
474.86	0.09	0.14	0.18	0.21	0.24	0.26	0.28	0.31	0.33
500.28	0.09	0.12	0.16	0.19	0.21	0.23	0.26	0.28	0.30
521.6	0.09	0.12	0.14	0.17	0.20	0.22	0.23	0.25	0.27
542.1	0.07	0.10	0.13	0.16	0.17	0.20	0.21	0.23	0.25
559.32	0.07	0.10	0.12	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.22
574.08	0.07	0.08	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.21

下表为利用上表的每一组数据计算得出的荷质比的值。

表二

λ /nm \ B/mT	214	302	390	478	566
406.8	1.70727E+11	1.72827E+11	1.73979E+11	1.74707E+11	1.56765E+11
423.2	1.58374E+11	1.87042E+11	1.73806E+11	1.65442E+11	1.58516E+11
439.6	1.70887E+11	1.81638E+11	1.79202E+11	1.72563E+11	1.6745E+11
445.34	1.75379E+11	1.86412E+11	1.79903E+11	1.68375E+11	1.65773E+11
456	1.8694E+11	1.86395E+11	1.86096E+11	1.77218E+11	1.70907E+11
488.8	2.00128E+11	1.90469E+11	1.83882E+11	1.76041E+11	1.71748E+11
474.86	1.73367E+11	1.84078E+11	1.87828E+11	1.78542E+11	1.69421E+11
500.28	1.82588E+11	1.85581E+11	1.8756E+11	1.78077E+11	1.67358E+11
521.6	2.00487E+11	1.92738E+11	1.82618E+11	1.7413E+11	1.7283E+11
542.1	1.81907E+11	1.77495E+11	1.79035E+11	1.74513E+11	1.63756E+11
559.32	1.84426E+11	1.82961E+11	1.74566E+11	1.71671E+11	1.62703E+11
574.08	1.84574E+11	1.64636E+11	1.68798E+11	1.67079E+11	1.59467E+11

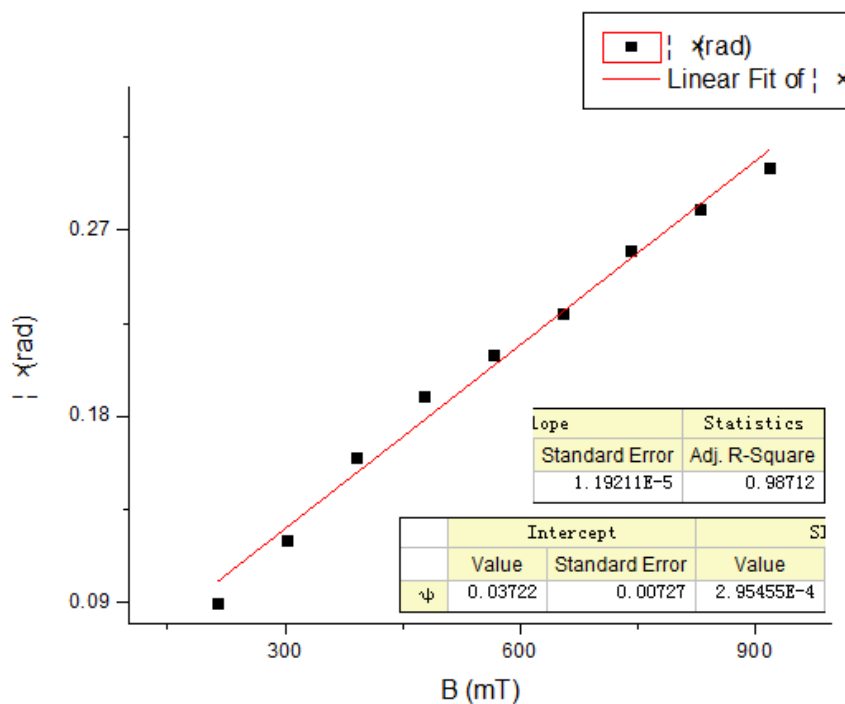
λ /nm \ B/mT	654	742	830	918
406.8	1.43652E+11	1.40684E+11	1.32056E+11	1.25083E+11
423.2	1.55468E+11	1.4718E+11	1.44847E+11	1.35371E+11
439.6	1.58432E+11	1.53743E+11	1.46867E+11	1.4319E+11
445.34	1.60205E+11	1.51743E+11	1.46456E+11	1.43092E+11
456	1.62284E+11	1.54086E+11	1.50786E+11	1.43357E+11
488.8	1.62081E+11	1.59446E+11	1.51317E+11	1.48304E+11
474.86	1.63117E+11	1.56232E+11	1.52092E+11	1.47197E+11
500.28	1.61536E+11	1.59577E+11	1.50742E+11	1.4618E+11
521.6	1.6357E+11	1.53808E+11	1.50768E+11	1.4613E+11
542.1	1.59201E+11	1.49897E+11	1.48521E+11	1.43202E+11
559.32	1.58412E+11	1.55138E+11	1.42653E+11	1.37935E+11
574.08	1.52579E+11	1.45457E+11	1.44854E+11	1.35875E+11

由上表可以看出, 由于测量了多种情况下的多组数据, 因此可以排除偶然误差对实验的影响, 实验数据的可靠程度还是比较高的。

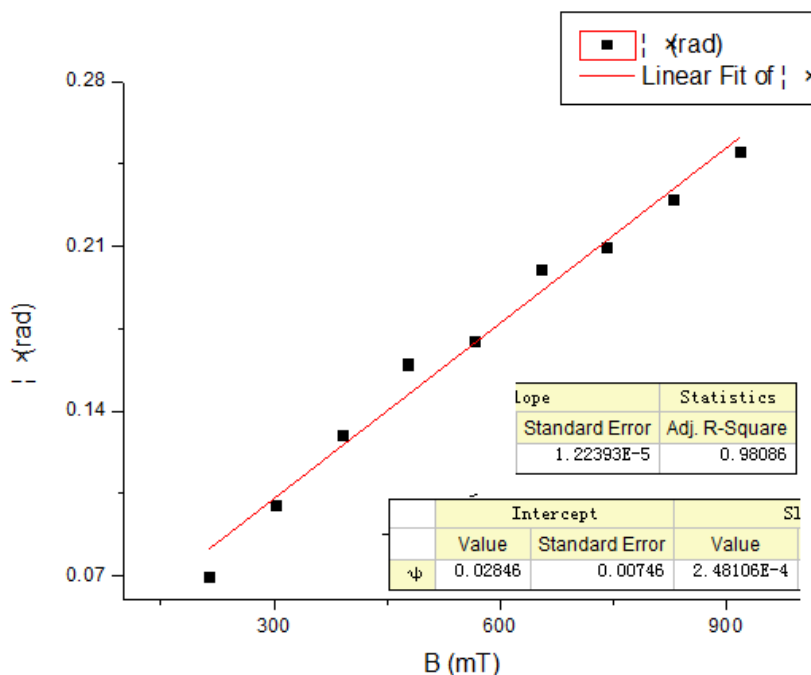
从表二中可以看出, 当 $B < 478\text{mT}$ 时, 所得荷质比的值均在标准值 1.76×10^{11} 上下浮动, 而当 $B \geq 566\text{mT}$ 时, 可以看到荷质比明显地偏在标准值一边, 且磁场越大, 偏得越厉害, 最后一组数据中, 当磁场大小为 918mT 时, 所算出的荷质比已经非常不准确了. 因此, 从上表中可以判定, 在该实验室环境下, 公式 $\psi = VBL$ 成立的条件是 B 必须小于 500mT 。

通常情况下, 图像比较便于观察但精确程度不高. 下面分别对于表一中波长为 559.32nm 和 500.28nm 时拟合 $\psi - B$ 的直线关系图。

$B = 500.28\text{nm}$



B=542.1nm



从图中可以看出,在500.28nm和542.1nm下拟合时, 线性度分别为R=0.98712和0.98086 这仍然可以认为是线性良好, 但磁场的取值最大达到了918mT, 公式早已不严格成立, 但从图像上并不能明显看出, 因此, 在观察细微的渐变过程时, 数据可以比图形更为直观。

4 结论

将公式中的常数以及色散关系代入可得公式 $e/m=1.809 \cdot 10^{24} \cdot (\psi \lambda^2 / B)$, 系数的数量

级远大于各测量量的量级，因此该公式对实验数据以及公式成立的条件要求很高。在数据很精确的前提下可以较为灵敏地感觉出公式的成立与否。

致谢

感谢白翠琴老师和岑剌老师对实验的辅导；

感谢蔡京之同学的配合与帮助。

参考书目

《法拉第磁致旋光效应及应用》，艾延宝 等，《物理与工程》2002年第5期；

《法拉第几个典型的实验失误》，项红专，《物理教师》2003年第24卷第5期；

《法拉第效应中样品介质的色散与波长关系》，杨会静，孙丽萍，《唐山师范学院学报》2005年3月第27卷第2期。