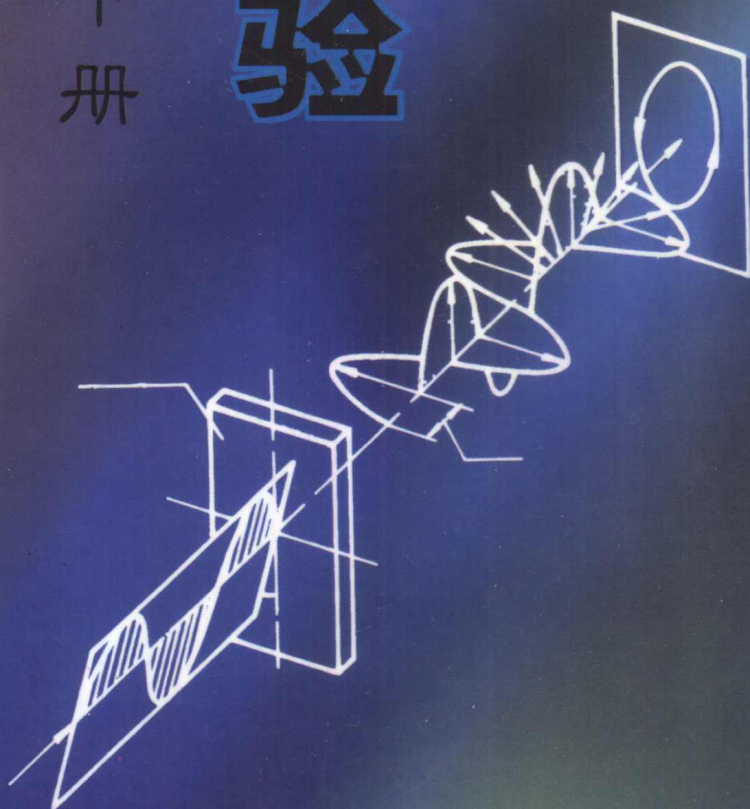


大学物理实验

下册

华南理工大学实验物理教研组 编



华南理工大学出版社

大学物理实验

(下 册)

华南理工大学实验物理教研组 编

华南理工大学出版社
·广州·

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验(下册)/华南理工大学实验物理教研组编.—广州:华南理工大学出版社,
2001.7 (2002.9 重印)
ISBN 7-5623-1625-2

I. 大… II. 华… III. 物理-实验-高等学校-教材 IV. O4-33

总发行: 华南理工大学出版社 (广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

发行部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

E-mail: scut202@scut.edu.cn

<http://www2.scut.edu.cn/press>

责任编辑: 赖淑华

印刷者: 广州市新明光印刷有限公司

开本: 787×1092 1/16 **印张:** 6.25 **字数:** 152 千

版次: 2002 年 9 月第 1 版第 2 次印刷

印数: 6001~9500 册

定价: (上、下册) 25.00 元

本册 11.00 元

版权所有 盗版必究

目 录

第四章 应用性综合性实验

实验 21	纵向共振法测金属棒的杨氏模量	1
实验 22	超声波在介质中的传播速度的测量	3
实验 23	物质旋光率的测定和磁致旋光特性研究	6
实验 24	PN 结正向电压温度特性研究	11
实验 25	绝热材料导热系数的测定 (防护热板法)	15
实验 26	压力传感器特性研究和应用	17
实验 27	电感传感器特性研究和应用	21
实验 28	交流电桥与电容、电感的测量	24
实验 29	霍尔效应法测磁场	27
实验 30	用电流场模拟静电场、温度场	30
实验 31	地磁场的测量	35
实验 32	示波器测磁化曲线和磁滞回线	39
实验 33	迈克尔逊干涉仪的调整与使用	43
实验 34	原子光谱的测量	48

第五章 近代物理实验

实验 35	光电效应与普朗克常数的测定	53
实验 36	夫兰克-赫兹实验	57
实验 37	密立根油滴实验	60
实验 38	全息照相技术	66
实验 39	椭圆仪测量薄膜的厚度和折射率	69
实验 40	空间滤波与阿贝成像原理	75

第六章 设计性实验

实验 41	简谐振动的研究	83
实验 42	多用电表的改装与调试	84
实验 43	非线性元件的特性研究	85
实验 44	表头参数的测定	86
实验 45	微细线径的测量	87
实验 46	温度表的设计和制作	88

实验 47 导体电阻率的测定	89
实验 48 高值电阻的测量	90
实验 49 物质光谱的定性分析	92
实验 50 重力加速度的测量	93
附录	94
参考文献	96

第四章 应用性综合性实验

本章选择了部分应用性综合性较强的物理实验,作为基础实验教学的延伸和扩展。实验内容的选择,在一定程度上使基本物理原理与工程技术相结合,以强化工程意识;为适应新技术的发展,适当引进了传感技术的基础实验,使学生了解在物理量测量中信号转换的原理和技术;有些实验,如“迈克尔逊干涉仪的调整和使用”,对实验装置调节要求较高。在这部分实验中,要求学生理解实验的物理原理,在此基础上独立思考完成实验的方法和步骤,并按要求完成实验。

实验 21 纵向共振法测金属棒的杨氏模量

“拉伸法测量金属丝的杨氏模量”实验是根据虎克定律,测出外施胁强与伸长应变,计算出杨氏模量。此法载荷大,加载速度慢,且有弛豫效应,称为静态测量法,常用于大变形和常温下的测量。

本实验采用共振法。当用一振荡源激发金属棒作纵向小振动时,就有一波动沿棒的轴向传播,其传播速度 $u = \sqrt{E/\rho}$ 。当振荡频率与棒的自然频率一致时即发生共振,由这共振现象就可以求出棒材料的杨氏模量 E 和波速 u 。

一、实验目的

1. 用共振法测定金属材料的杨氏模量及声波在金属棒中的传播速度。
2. 学习综合应用某些常用仪器的能力。

二、实验仪器

低频信号发生器,示波器,换能器,金属棒,支架。

三、实验原理

根据弹性力学原理,一均匀长直细棒在沿棒方向作小振动时,若以 $y(x, t)$ 表示在平衡时坐标为 x 的质点(实际是一个截面)在 t 时刻沿 x 方向的位移,则可得细棒纵振动方程为(参见《大学物理》第一册 327 页):

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{\rho}{E} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (4-21-1)$$

式中, ρ 为棒的密度, E 为棒材料的杨氏弹性模量,故波沿 x 方向的传播速度 $u = \sqrt{E/\rho}$ 。

如果棒长为 L ,两端是自由的,即棒的两端($x=0$ 、 $x=L$)都不会有应力,则用分离变量法并代入此边界条件,可得式(4-21-1)方程的解为:

$$y = A \cos\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \cos\left(\frac{n\pi u}{L}t\right) \quad (4-21-2)$$

式中, 角频率 $\frac{n\pi u}{L} = \omega_n = 2\pi\nu_n$, 当 n 一定时, 只与棒本身的内在性质 (L 、 ρ 、 E) 有关, 故称为棒的自然频率。由此得 n 次谐波频率

$$\nu = \frac{nu}{2L} = \frac{n}{2L} \sqrt{E/\rho} \quad (4-21-3)$$

其中 $n=1$ 时, $\nu_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{E/\rho}$ 称为基频频率, $n=2$ 时, ν_2 称为二次谐波; 其余依此类推。

由式(4-21-2)可知, 各谐波的节点处 $y=0$, 即:

$$\cos\left(\frac{n\pi}{L}x\right) = 0$$

$$\frac{n\pi}{L}x = (2K+1) \frac{\pi}{2}$$

测得一定谐波的各波节点位置

$$x = \frac{(2K+1)L}{2n} \quad (4-21-4)$$

式中, $n=1, 2, \dots, n$, 对一定的 n 值, $K=0, 1, 2, \dots, n-1$ 。例如, 当 $n=3$ 时, K 可以取 0, 1, 2, 从而确定棒上的三个波节点位置。

四、实验内容和要求

1. 实验装置如图 4-21-1 所示。把支架放于棒的节点 A 、 B 处 (按式(4-21-4)预先计算好), 靠近棒的两端面处各放一个换能器 Q_1 、 Q_2 。将 Q_1 换能器线圈连接于低频信号发生器的功率输出端子, 将 Q_2 换能器线圈连接于示波器的 Y 输入端。低频信号发生器输出信号通过换能器 Q_1 在棒中激起纵振动后, 换能器 Q_2 的线圈中就有感应电压产生, 因此, 可用示波器观察棒振动的波动及振幅大小。当改变信号源输出信号频率, 使之与棒的自然频率相同时, 棒发生共振, 这时示波器显示的波形幅度突然增大。由此, 可测定各谐波频率。

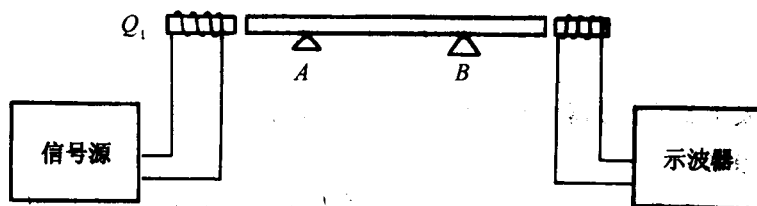


图 4-21-1 装置示意图

2. 测出各谐波频率, 由式(4-21-3)计算出棒材料的杨氏弹性模量、声波在棒中的传播速度, 并计算相应的测量标准差 σ_E 和 σ_v 。

3. 预习要求:

(1) 拟定实验步骤, 列好测量记录表格。

(2) 根据式(4-21-4)计算出纵振动时各谐波的节点位置 (算到 $n=6$), 以便实验时选用其中两个节点支承棒材。由式(4-21-3)估算棒的自然频率的可能值, 以作为实验时调节

频率的参考值。

(3) 参考数据: 棒长 $L = 1.25\text{m}$, 直径 $d \approx 2.0 \times 10^{-2}\text{m}$, $\rho = 7.82 \times 10^3\text{kg/m}^3$, $E = (2.0 \sim 2.2) \times 10^{11}\text{N/m}^2$ 。

实验 22 超声波在介质中的传播速度的测量

超声波的特点是穿透能力强, 不仅使用于海洋中的探测和通信, 而且因超声波通过介质后会反映出原子或分子的干扰信息, 形成声子效应, 故在化工、医学、材料的试验研究方面均有实际应用。

超声波在介质中的传播速度是一个基本物理量, 本实验用共振干涉法和相位比较法进行测定。

一、实验目的

1. 了解纵波驻波的性质。
2. 了解超声波的发射和接收。
3. 用干涉法和相位法测量超声波的传播速度。

二、实验仪器

超声速度测定仪, 低频信号发生器, 示波器。

三、实验原理

1. 发射波、反射波和驻波

从发射源发出一定频率的平面声波, 称为发射波。发射波经过介质传播, 到达接收器, 如果接收面和发射面严格平行, 则在接收面上垂直反射平面波。发射波与反射波相互干涉, 在一定条件下形成驻波。设

$$\text{发射波} \quad y_1 = A_1 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right) \quad (4-22-1)$$

$$\text{反射波} \quad y_2 = A_2 \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda}x\right) \quad (4-22-2)$$

$$\text{两者干涉形成驻波} \quad y = y_1 + y_2 = \left(2A \cos \frac{2\pi}{\lambda}x\right) \cos \omega t$$

其中: $A_1 = A_2 = A$ 。对应 $\left|\cos \frac{2\pi}{\lambda}x\right| = 1$ 的各点振幅最大, 称为波腹; 对应 $\left|\cos \frac{2\pi}{\lambda}x\right| = 0$ 的各点振幅最小 (静止不动), 称为波节。

理论证明: 振幅最大的点, 声波的压强最小; 相反, 振幅最小处, 声波的压强最大。

声波在介质中的传播速度、频率和波长之间存在如下关系:

$$u = \nu \lambda \quad (4-22-3)$$

根据式(4-22-3), 用实验方法测量出声波的频率 ν 和波长 λ , 就可间接测出声速 u 来。

2. 共振干涉法

本实验采用压电陶瓷超声换能器作为超声发射器 A 和接收器 B。当高频电信号输到发射器上时, 由于压电效应, 压电陶瓷片发生纵向伸缩, 换能器就发射出一平面超声波, 传播到接收器后立即被反射。若发射器和接收器两平面间距离 L 满足条件

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad (n \text{ 为整数}) \quad (4-22-4)$$

则发射波和反射波叠加干涉而形成稳定的驻波。当驻波振幅达到最大时，称为共振干涉。由于接收器反射面一定是驻波的波节处，因而它处在压力变化最大的位置，即接受最大的声压变化。把接收器沿声波传播方向移动，接收器表面声压变化如图 4-22-1。

从图中可知，接收器表面声压 p 是传播距离 L 的周期性变化的函数。当 $L = n \frac{\lambda}{2}$ 时， p 为极大值。所以，当 L 每改变 $\frac{\lambda}{2}$ 时，接收器表面就出现一次极大值；当 $L = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}$ 时， p 为极小值，但两相邻极小值之间距离也是 $\lambda/2$ 。故我们只需测出各极大值所对应接收器的位置，就可以测出波长。

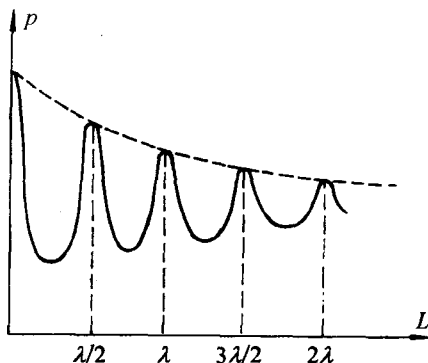


图 4-22-1 表面声压与接收器位置关系

3. 相位比较法

声波是机械振动状态的传播，也是相位的传播，所以，声源的振动通过介质的传播到达接收器时，一般在发射波和接收波之间产生相位差 $\Delta\varphi$ ，它与频率 ν 及两换能器之间距离 L 之间的关系为

$$\Delta\varphi = 2\pi\nu L/u = 2\pi \frac{L}{\lambda} \quad (4-22-5)$$

从上式可以看出，在已知 ν 的情况下，可以通过改变发射器与接收器之间的距离来观察相位的变化。显然，每改变一个波长的距离，相位差就改变 2π 。

相位差的变化可以通过示波器来观察。两个同频率的振动互相垂直地叠加可以得到形状不同的利萨如图形。若两个振动的相位差从 $0 \rightarrow \pi \rightarrow 2\pi$ 变化，则图形会由斜率为正的直线变为椭圆继而再变到斜率为负的直线，再经过椭圆变为斜率为正的直线，如图 4-22-2 所示。

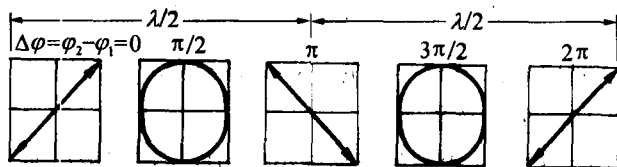


图 4-22-2 相位差的变化

因直线图形易于判断，所以可选利萨如图形为直线时的位置作为接收器的测量起点，每移动一个波长就会重复出现同样斜率的直线。先以这种方法测出波长，再把声速计算出来。

四、实验装置

本实验使用压电换能器。压电换能器的主要部分是压电片，它能使声压和电压之间相

互转换。压电换能器系统有一谐振频率 ν_0 ，当外加电信号频率等于谐振频率时，压电换能器能产生机械谐振，此时发射出的信号最大。整个装置如图 4-22-3 所示，信号源产生正弦电压信号，示波器用来测量接收换能器转换出来的电信号峰-峰值的大小和观测利萨如图形，发射换能器 A 与接收换能器 B 之间的相对距离 L 可由超声速度测定仪上的游标尺读出。当换能器处于谐振时，阻抗急剧下降，发射换能器电路中串接的信号灯 S 会发亮，低频信号发生器电表指示的输出电压会降至最低。

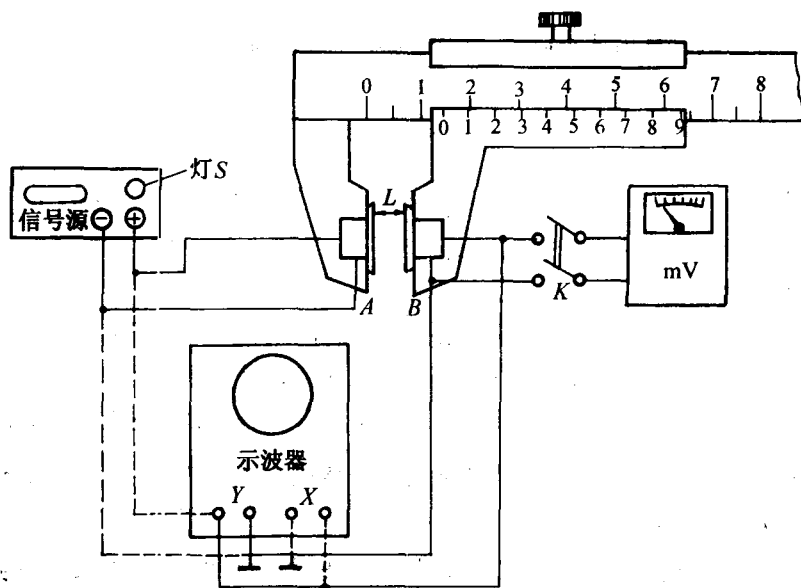


图 4-22-3 测量接线图

五、实验内容和要求

1. 调整测试系统谐振频率

按图 4-22-3 连接线路（其中实线部分为共振干涉法接线，实线加虚线为相位比较法接线），把信号源、示波器与发射器 A 和接收器 B 接好。调整发射器与接收器的固定卡环装置，使两平面端面严格平行。

换能器工作在超声范围，谐振频率在 30~40kHz 之间，调节信号源频率，使电路中的信号灯 S 发亮，或观察信号源指示的输出电压，使之降至最低，同时，使示波器上的电压信号波形幅度达到最大值，表示发射换能器和接收器已进入谐振状态。此时，信号源的频率等于换能器固有频率 ν_0 。

2. 共振干涉法测量超声波长

调得声压极大值以后，连续地移动接收器的位置，会观测到示波器相继出现极大值，依次记录游标尺上这些相应值 $x_1, x_2, \dots, x_{16}$ 。按逐差法进行数据处理，取 $8 \frac{\lambda}{2}$ 的间隔计算波长及其误差。记录与 x_i 对应的信号源输出信号频率 ν_i ，再取其平均值 $\bar{\nu}$ 。

由式 (4-22-4)，有

$$\lambda = 2 \frac{(x_{8+i} - x_i)}{8} \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (4-22-6)$$

3. 相位比较法测量超声波长

用相位比较法时, 将接收器 B 与示波器 Y 输入相连, 发射器 A 与示波器 X 输入相连。可利用利萨如图形观察发射波与接收波的相位差。如 $\Delta\varphi = \pi$, 图形为直线时, 即记录游标尺的指示数。但要注意, 由于发射波与接收波的振幅相差甚远 (接收波振幅小), 要适当调节两者的衰减灵敏度, 才能获得比较满意的利萨如图形。随着两者之间相位差从 $0 \rightarrow \pi$ 变化, 其利萨如图形由直线变为椭圆, 每移动半个波长 ($\lambda/2$) 就会重复出现直线图形。按本实验内容 2 的要求进行记录和处理数据。

用上述两种方法计算出波长以后, 由式(4-22-3)分别求出声速测量值 $u_{\text{测}} = \bar{\nu} \cdot \bar{\lambda}$ 和相应的标准差 σ_u , 最后结果写成

$$u = u_{\text{测}} \pm \sigma_u = \quad (4-22-7)$$

4. 0°C 时声速 $u_0 = 331.450\text{m/s}$, 计算室温 ($t^\circ\text{C}$) 时的声速 $u = u_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \text{ m/s}$, 试将上述两种测量值与之进行比较和讨论。

六、思考与讨论题

1. 用逐差法处理数据时, 把测量数据分成前后两组, 每组按顺序各取 1 个数据逐个求差值, 这有何优点? 两组数据如相隔 10 个波长的话, 是否更合理?

2. 如超声发生器的频率可以任意调节, 利用这套设备测固体中的声速时, 其实验步骤应该怎样安排? (提示: 声波在棒中传播时, 若棒长 L 符合 $L_n = n \frac{\lambda}{2}$, 也会发生共振现象, 此时棒的两端面是振幅最大处。)

3. 应用测量超声速原理是否可以设计超声温度计? 如果 10 个波长精确到 0.02mm , 即每个波长精确到 0.002mm , 在频率不变的情况下, 能测到的最小温度间隔是多少?

实验 23 物质旋光率的测定和磁致旋光特性研究

介质的旋光性质反映了光与物质相互作用过程中的宏观现象, 由此可获得物质分子结构的重要资料, 并在制糖、制药工业和现代高新技术中有广泛的应用。平面偏振光通过处于磁场中的某些物质时, 振动面会发生旋转, 这种现象称为法拉第磁光效应。物质的这种性质称为磁致旋光性。它表明光现象与磁现象之间有联系。

一、实验目的

1. 了解物质的旋光性和学习测定物质的旋光率的方法。
2. 研究样品的磁致旋光特性。
3. 学习旋光仪的调节和使用。

二、仪器用具

WXG-4 型圆盘旋光仪, 磁致旋光实验仪, 几种旋光物质, 毫安表, 直流稳压电源等。

三、实验原理

1. 旋光现象和物质旋光率的测量

在晶体中沿光轴方向传播的光虽然不发生双折射，但有其他现象发生。阿喇果首先发现单色的平面偏振光垂直地入射到光轴垂直于入射面的石英薄片时，透射出来的光虽然仍是平面偏振光，但它的振动面相对于入射光的振动面旋转了一个角度，说明平面偏振光在石英内传播时，振动面是继续旋转的。后来，在许多其他晶体以及一些液体中也发现了这种现象。

平面偏振光通过物质后振动面发生旋转的现象，称为旋光现象。能够使平面偏振光的振动面发生旋转的物质，称为旋光性物质。

研究表明，对于一定波长的光波，振动面旋转的角度 $\Delta\varphi$ 正比于晶片的厚度 l ，即

$$\Delta\varphi = \alpha l \quad (4-23-1)$$

系数 α 称为旋光率，与入射光波长及旋光物质有关。例如，对 $\lambda = 589\text{nm}$ 的光波，石英晶片的 $\alpha = 21.7^\circ/\text{mm}$ ；对 $\lambda = 405\text{nm}$ 的光波， $\alpha = 48.9^\circ/\text{mm}$ ；对 $\lambda = 215\text{nm}$ 的光波， $\alpha = 236^\circ/\text{mm}$ 。若采用白光，当石英薄片放在正交的两个偏振片之间时，就看到有彩色，转动任一个偏振片时彩色改变。这种旋光率随着波长而变的现象，称为旋光色散。

研究表明，对于有旋光性的溶液，如松节油、糖溶液、谷氨酸钠溶液等振动面的旋转角度 $\Delta\varphi$ 正比于光所通过的溶液的厚度 l ，也正比于旋光性溶液的浓度 c ，即

$$\Delta\varphi = \alpha lc \quad (4-23-2)$$

l 为溶柱（试管）的长度，用分米（dm）作单位，浓度 c 即 1 升溶液中溶质的质量。对大多数物质，用 $\lambda = 589.3\text{nm}$ 光波，当温度升高 1° 时，旋光率约减少 0.3% 。对于要求较高的测定工作，最好能在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的条件下进行。

旋光物质的旋光性具有右旋和左旋两种。通过晶片观察光源时，振动面按顺时针方向旋转的称为右旋；逆时针方向旋转的称为左旋。大多数旋光物质的旋光性都有右旋和左旋两种。左旋或右旋反映物质的分子结构区别，对于药物，左旋和右旋有不同的治疗效果。

2. 磁致旋光效应

法拉第（M Faraday）磁光效应，是物理学家法拉第 1846 年发现的。平面偏振光通过处于磁场中的物质（如玻璃、汽油等）时，振动面会发生旋转，这种现象称为法拉第磁光效应。物质的这种性质称为磁致旋光性。它表明光现象与磁现象之间有联系。

法拉第磁光效应的实验示意装置如图 4-23-1。

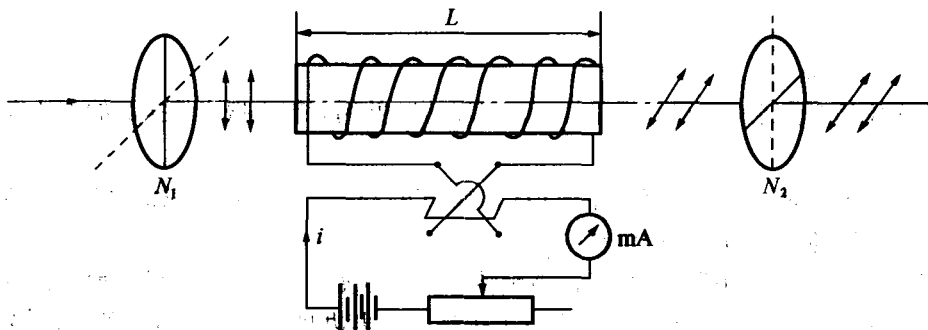


图 4-23-1 磁致旋光实验装置示意图

N_1 、 N_2 为正交偏振片 (或尼科尔棱镜), N_1 、 N_2 之间置一螺线管, 管内放入某种物质, 当电流 $I=0$ 时, $B=0$, 平面偏振光不能透过 N_2 (视场暗), 表明平面偏振光的振动面没有旋转。当 $I \neq 0$ 时, $B \neq 0$, 平面偏振光有一分量能透过 N_2 (视场亮), 故 N_2 所转角度等于偏振光振动面所转过的角度。

实验表明, 振动面旋转的角度 $\Delta\varphi$ 与偏振光在物质中所经过的路径的长度 l 成正比; 当 l 一定时, $\Delta\varphi$ 与 B 成正比。即

$$\Delta\varphi = VIB \quad (4-23-3)$$

系数 V 称为费德尔常数, 依物质和入射光波长而定, 表征物质的磁致旋光特性。

旋光物质分为天然旋光物质和磁致旋光物质。两种物质也有左旋光和右旋光两种。右旋光物质的费德尔常数 V 规定为正值。

天然旋光物质与磁致旋光物质比对: 天然旋光物质的旋转方向随顺光线方向和逆光线方向观察而变, 平面偏振光若连续两次沿相反方向通过它, 结果振动面并不旋转。磁致旋光物质的旋光方向仅由磁场方向决定, 与光线传播方向无关。偏振光沿相反的方向两次通过旋光物质时, 其旋转角加倍 (或光线方向不变、改变 B 的方向也有同样结论)。

天然旋光物质放在磁场中, 天然旋光本领与外磁场影响下所发生的旋光本领相加。铁磁物质的旋转角正比于该物质的磁化率。

四、实验内容和要求

1. 测定石英片对钠黄光的旋光率, 并判断左、右旋。
2. 测定溶液的旋光率, 并判断左、右旋。
3. 绘出磁致旋光物质的 $\Delta\varphi$ - B 关系图线, 并求出费德尔常数 V 。

螺线管中部的磁感应强度 B 由下式近似计算:

$$B = \mu_0 NI \sqrt{L^2 + \left(\frac{D+d}{2}\right)^2}$$

式中, N 为螺线管总匝数, L 为螺线管长度, D 为外径, d 为内径, I 为电流。 N 、 L 、 D 、 d 由实验室给出。

附: WYG-4 型旋光仪介绍

1. 工作原理

旋光仪的工作原理是建立在偏振光的基础上, 并用旋转偏振光偏振面的方法来达到测量目的。

在零度位置时, AA' 垂直于中线 OX , 如图 4-23-2。 AA' 表示检偏镜振动方向。 OP 与 OP' 表示视场两半偏振光的振动方向。

当光束经过旋光物质后, 偏振面被旋转了一个角度 α , 如图中虚线所示。这时, 两半的偏振光在 AA' 上的投影不等, 而是右半边亮, 左半边暗。如把检偏镜偏振面 AA' 在相同方向上转动 α 角, 则可重新使视场照度相等, 这时, 检偏镜所转的角度, 就是物质的旋光度。知道了旋转角 (旋光度)、溶柱 (试管) 长度和浓度, 就可根据下式求出物质的比旋光度 (旋光本领或旋光率):

$$[\alpha]_t = \frac{\Psi}{L \cdot c} \times 100\%$$

式中, Ψ 是在温度 t 时用波长为 λ 的光测得的旋转角 (旋光度); L 是溶柱 (试管) 长度, 用分米 (dm) 作单位, c 为溶液的浓度, 即 1 升溶液中溶质的质量。

由上式可知, 旋转角 Ψ 与溶柱长度 L 及浓度 c 成正比, 即

$$\Psi = [\alpha] L c$$

2. 仪器结构

(1) 仪器原理 (见图 4-23-3)

光线从光源 1 投射到聚光镜 2 并经滤色镜 3、起偏镜 4 后, 变成平面偏振光, 再经半波片 5 分解成寻常光与非寻常光后, 视场中出现三分视界。旋光物质盛入试管 6 放入镜筒测定, 由于溶液具有旋光性, 故把平面偏振光旋转了一个角度, 通过检偏镜 7 起分析作用, 从目镜 9 中观察, 就能看到中间亮 (或暗) 和左右暗 (或亮) 的照度不等的三分视界 (见图 4-23-4 a 或 b), 转动度盘手轮 12, 带动度盘 11、检偏镜 7, 觅得视场照度 (暗视场) 相一致 (见图 4-23-4 c) 时为止。然后从放大镜中读出度盘旋转的角度 (见图 4-23-3)。

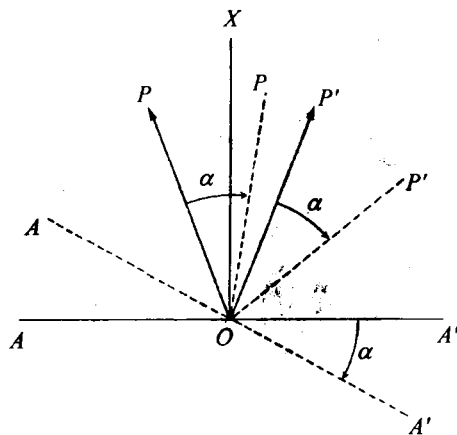


图 4-23-2

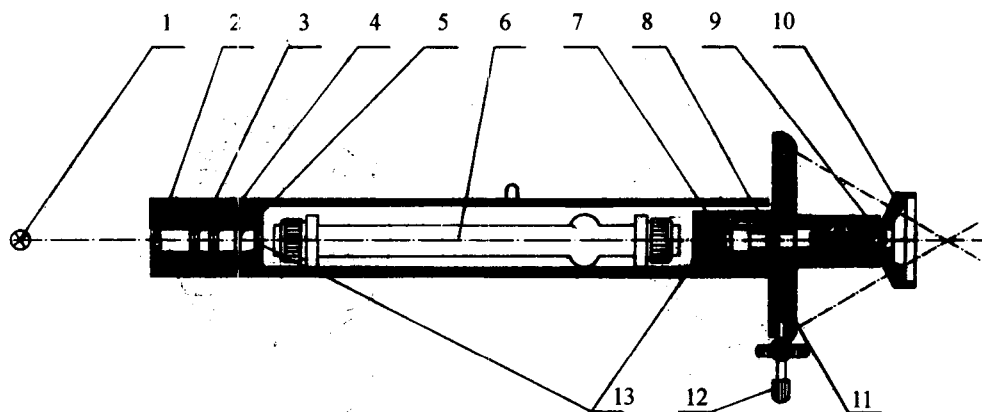


图 4-23-3 仪器系统图

1—光源 (钠光); 2—聚光镜; 3—滤色镜; 4—起偏镜; 5—半波片; 6—试管; 7—检偏镜;
8—物镜; 9—目镜; 10—放大镜; 11—度盘游标; 12—度盘转动手轮; 13—保护片

(2) 仪器结构

为便于操作, 仪器的光学系统倾斜 20° 安装在基座上, 光源采用 20 瓦钠光灯 (波长 $\lambda = 589.3\text{nm}$), 钠光灯有限流器安装在基座底部, 无需外接线流器。仪器的偏振器均为聚

乙烯醇人造偏振片，三分视界采用劳伦特石英板装置（半波片）。转动起偏镜可调整三分视场的影阴角（本仪器出厂时调整在 3° 左右）。仪器采用双游标读数，以消除度盘偏心差。度盘分 360 格，每格 1° ，游标分 20 格，等于度盘 19 格，用游标直接读数到 0.05° （如图 4-23-5）。度盘和检偏镜固为一体，借助于手轮 12 能作粗细转动。游标窗前方装有两块 4 倍的放大镜，供读数时用。

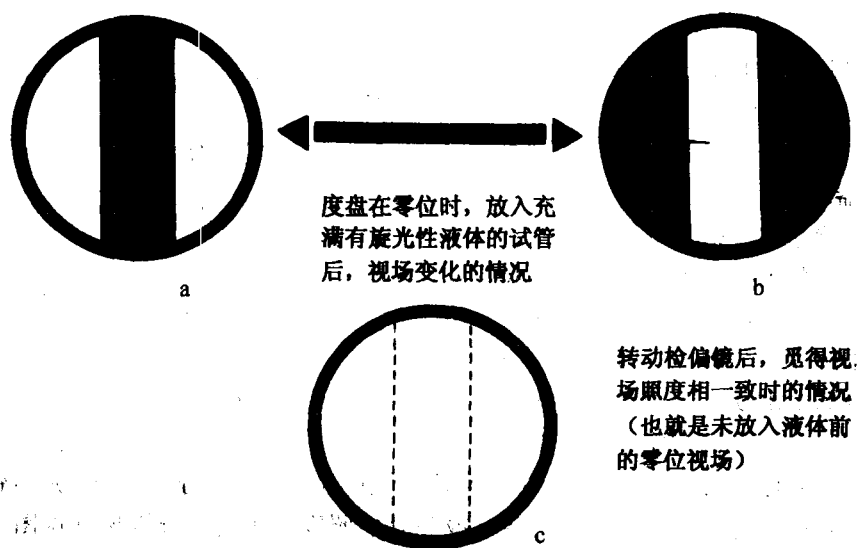


图 4-23-4 视场变化情况

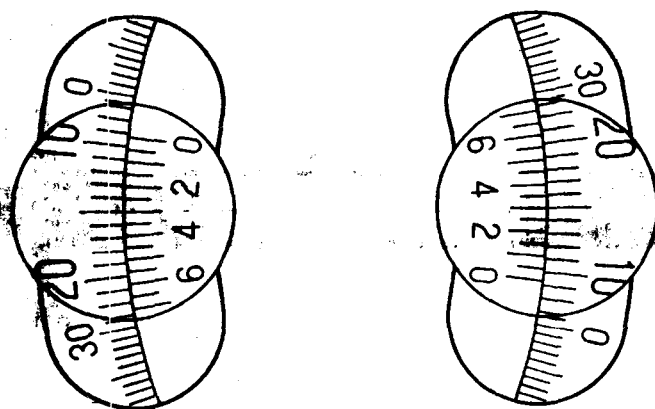


图 4-23-5 ($\theta = 9.30^\circ$)

3. 使用方法

(1) 准备工作

①先将欲测溶液配好，并加以稳定和沉淀。

②把欲测溶液盛入试管待测。但应注意试管两端螺旋不能旋得太紧（一般以随手旋紧不漏水为止），以免护玻片产生应力而引起视场亮度变化，影响测定准确度，并将两端残

液揩净。

③接通电源,约点燃 10 分钟,待完全发出钠黄光后,才可观察使用。

④检验度盘零度位置是否正确,如不正确,可旋松度盘盖四只连接螺钉,转动度盘壳进行校正(只能校正 0.5° 以下),或在测量过程中利用加、减消除误差。

(2) 测定工作

①打开镜盖,把试管放入镜筒中,然后盖上镜盖,使试管有圆泡的一端朝上,以便把气泡存入,从而不致影响观察和测定。

②调节视度螺旋至视场中三分视界清晰时止。

③转动度盘手轮,至视场照度一致(暗视场)时止。

④从放大镜中读出度盘所旋转的角度。

⑤利用前述公式,求出物质的比重、浓度、纯度与含量。

实验 24 PN 结正向电压温度特性研究

早在 20 世纪 60 年代初,人们就试图利用 PN 结的正向电压随温度升高而降低的特性来制作测温元件。现在,PN 结以及在此基础上发展起来的晶体管温度传感器、集成电路温度传感器已广泛应用于各个领域。PN 结温度传感器具有灵敏度高、线性好、热响应快和体积小轻巧的特点,尤其是在温度数字化、温度控制以及用微机进行温度实时信号处理等方面,是其他测温仪器所不能媲美的。PN 结温度传感器的缺点是测温范围小,如以硅为材料的温度传感器,在非线性误差不超过 0.5% 的条件下,测量范围为 $-50 \sim 150^\circ\text{C}$ 。如果采用其他材料,如锑化铟或砷化镓,可以展宽传感器低温区或高温区的测温范围。

一、实验目的

1. 了解 PN 结正向电压随温度变化的基本规律。

2. 在恒流供电条件下,测绘 PN 结正向电压随温度变化的关系图线,并由此确定 PN 结的测温灵敏度和被测 PN 结材料的禁带宽度。

二、实验仪器

TH-J 型 PN 结正向压降温度特性实验组合仪。

三、实验原理

1. PN 结温度传感器的基本方程

根据半导体物理的理论,理想 PN 结的正向电流 I_F 和正向电压 V_F 存在如下近似关系式:

$$I_F = I_n e^{\frac{qV_F}{kT}} \quad (4-24-1)$$

式中: q 为电子的电量; T 为热力学温度; I_n 为反向饱和电流,它是一个和 PN 结材料的禁带宽度以及温度等有关的系数。可以证明:

$$I_n = CT e^{-\frac{qV_{g(0)}}{kT}} \quad (4-24-2)$$

式中: C 是与 PN 结的结面积、掺杂浓度等有关的常数; k 为玻尔兹曼常数; r 在一定温度范围内也是常数; $V_{g(0)}$ 为热力学温度 0K 时 PN 结材料的导带底与价带顶的电势差,对

于给定的 PN 结材料, $V_{g(0)}$ 是一个定值。

将式(4-24-2)代入式(4-24-1), 两边取对数, 整理后可得

$$V_F = V_{g(0)} - \left(\frac{k}{q} \ln \frac{C}{I_F} \right) T - \frac{kT}{q} \ln T = V_1 + V_{nr} \quad (4-24-3)$$

其中

$$V_1 = V_{g(0)} - \left(\frac{k}{q} \ln \frac{C}{I_F} \right) T$$

$$V_{nr} = - \frac{kT}{q} \ln T$$

式(4-24-2)是 PN 结正向电压作为电流和温度函数的表达式, 它是 PN 结温度传感器的基本方程。

2. PN 结测温原理和温标转换

根据式(4-24-2), 对于给定的 PN 结材料, 令 PN 结的正向电流 I_F 恒定不变, 则正向电压 V_F 只随温度而变化。但是, 式(4-24-3)中除线性项 V_1 外, 还包含有非线性项 V_{nr} 。实验和理论证明, 在温度变化范围不大时, V_{nr} 与 V_F 的改变量相比误差甚小。对于通常的硅 PN 结材料来说, 在 $-50 \sim 150^\circ\text{C}$ 的温度区间内, 其非线性误差仍然甚小。但当温度变化范围增大时, V_F 温度响应的非线性误差将有所递增。

综上所述, 对给定的 PN 结材料, 在允许的温度变化区间范围内, 在恒流供电 (I_F 不变) 条件下, PN 结的正向电压 V_F 对温度的依赖关系取决于线性项 V_1 , 正向电压 V_F 几乎随温度升高而线性下降。即

$$V_F = V_{g(0)} - \left(\frac{k}{q} \ln \frac{C}{I_F} \right) T \quad (4-24-4)$$

上式是 PN 结测温的依据。

式(4-24-4)中的温度 T 是热力学温度, 在实际使用中会有不便之处, 为此, 有必要进行温标转换, 即确定 PN 结正向电压增量 ΔV (温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的正向电压与 0°C 时的正向电压比较) 与用摄氏温度表示的温度之间关系。

设温度为 TK 时的 PN 结的正向电压为 V_F , 根据热力学温度和摄氏温度的转换关系, 有

$$T = 273.2 + t \quad (t \text{ 为摄氏温度})$$

令 V_F 在 0°C 时的值为 $V_{F(0)}$, 则在 TK 时 V_F 值为

$$V_F = V_{F(0)} + \Delta V \quad (4-24-5)$$

将式(4-24-5)代入式(4-24-4), 有

$$V_{F(0)} + \Delta V = V_{g(0)} - \left(\frac{k}{q} \ln \frac{C}{I_F} \times 273.2 \right) - \left(\frac{k}{q} \ln \frac{C}{I_F} \right) t$$

设在 $t=0^\circ\text{C}$ 时, 令 $\Delta V=0$, 则有

$$V_{F(0)} = V_{g(0)} - \left(\frac{k}{q} \ln \frac{C}{I_F} \right) \times 273.2 \quad (4-24-6)$$

而对于其他温度 $t^\circ\text{C}$, 则有

$$\Delta V = - \left(\frac{k}{q} \ln \frac{C}{I_F} \right) t \quad (4-24-7)$$

定义 $S = \frac{k}{q} \ln \frac{C}{I_F}$ 为 PN 结温度传感器灵敏度, 则有