逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

第36届全国中学生物理竞赛决赛 实验题Ⅱ“光偏及应用研究”

参考答案与详解（本站独立编撰）

物理竞赛决赛实验卷 · 3 道实验大题 · 60 分 · 90 分钟

本册答案与解析由逐光知理物理教研组独立编撰，依据原卷题干与所给实验数据重新推导整理，未参照任何外部答案；数据表与作图结论均经本站逐条复算核对。若个别数值与原卷印刷值有出入，以卷面为准。

答案速查

题号	主考点	答案摘要
1	布儒斯特角法测黑色平板折射率	（1）设计测量方案（14分）；（2）单次测量：布儒斯特角 $\alpha_0 \approx 55.0^\circ$，折射率 $n = 1.428$（或 1.43）
2	偏振片偏振化方向与指针夹角的测定及马吕斯定律验证	（1）偏振化方向与指针的等效夹角 $\Delta\beta = 69.1^\circ \pm 0.5^\circ$；（2）去本底后光电流 $i - i'$ 与 $\cos^2\varphi$ 成良好线性关系，即光电池光电流与入射光强成线性关系
3	线偏振光在黑色平板上的光强反射率随入射角的变化	（1）测得光矢量平行于入射面的线偏振光反射率 R 随入射角 α 变化曲线：α 由 5° 增至 55° 时 R 由约 3.7% 降至 0（布儒斯特角附近），α 再增大时 R 急剧上升至 50.7%；（2）外推得垂直入射时 $R \approx 3.8\%$

实验题（共 3 题，60 分）

1. 实验题 · 22分

答案 （1）设计测量方案（14分）；（2）单次测量：布儒斯特角 $\alpha_0 \approx 55.0^\circ$，折射率 $n = 1.428$（或 1.43）

详解

(1) 第（1）问 · 测量原理图（4分） 将待测黑色平板固定于转动平台，使平台中心轴处在待测平面上；激光源发出的激光通过转台中心轴并垂直于平板表面。以激光光线为轴转动激光源（或在激光源处加偏振片并转动偏振片）改变入射角 α；反射光由光电池接收，用万用表微安挡测量光电流。原理图中须标注激光源、黑色平板、光电池、万用表四要素。原理：当入射角等于布儒斯特角 α_0 时，反射光为光矢量垂直于入射面的线偏振光且光强极小（对平行分量反射率为零），故反射光电流出现明显极小。

(2) 第（1）问 · 关键步骤（a） （b） （c） ⑷ 将待测黑色平板固定于转动平台，转动平台中心轴处在待测平面上。⑹ 调整激光源使激光光线通过转动平台中心轴，并垂直于黑色平板表面。⑹ 在激光光线方向不变时，以激光光线为轴转动激光源（或转动偏振片）至某一角度，然后转动转台，肉眼观察反射光强 I 随入射角 α 的变化；多次转动激光源（或偏振片），当反射光强随入射角变化最明显时，在三维调节架上固定激光器（或停止转动偏振片）。此步保证入射光中含有足够强的平行于入射面的分量，使 $\alpha = \alpha_0$ 时反射光强极小最明显。

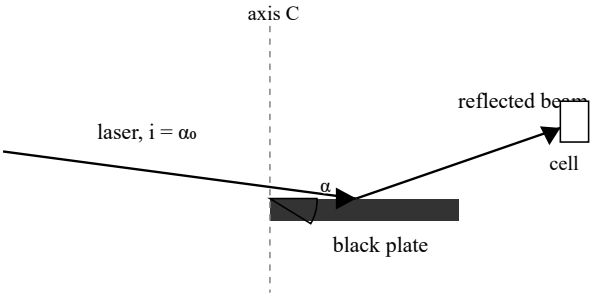
(3) 第（1）问 · 关键步骤（d）（e）与测量公式（2分） (d) 用万用表微安挡测量反射光的光电流，转动转台 C，观测光电流变化，用逐渐逼近法确定光电流为最小（极小）的位置，记录转动臂角坐标 θ_1，此位置对应入射角即布儒斯特角 α_0。(e) 转动转台 C 使反射光在另一侧，同理在布儒斯特角 α_0 入射时反射光电流最小，记录角坐标 θ_2。由几何关系，左侧（单侧）测量时 $\alpha_0 = 180^\circ - \dfrac{\theta_1 - \theta_0}{2}$；右侧时 $\alpha_0 = 180^\circ - \dfrac{180^\circ + \theta_0 - \theta_2}{2}$；双侧测量时 $\alpha_0 = \dfrac{\theta_2 - \theta_1}{4}$。再由布儒斯特定律 $\tan\alpha_0 = n$ 求折射率。

(4) 第（1）问 · 减少系统误差的方法（3分） (a) 双侧测量布儒斯特角（相当于分光计左右读数窗），取平均可消除转台零点偏心带来的系统误差；(b) 调整激光光路通过转台 C 的中心轴，并与中心轴垂直，保证入射角与转角严格对应；(c) 转动激光源至最佳角度，使反射光光强随入射角变化最明显，从而极小位置判断最灵敏、逼近最准确。

(5) 第（2）问 · 数据记录与双侧测量处理 方法 1（双侧测量）：左侧角坐标 $\theta_1 = 73.2^\circ$，右侧角坐标 $\theta_2 = 293.0^\circ$。代入 $\alpha_0 = \dfrac{\theta_2 - \theta_1}{4} = \dfrac{293.0^\circ - 73.2^\circ}{4} = \dfrac{219.8^\circ}{4} = 54.95^\circ \approx 55.0^\circ$。

(6) 第（2）问 · 单侧测量处理（方法 2） 中间角坐标 $\theta_0 = 3.5^\circ$。左侧测量：$\alpha_{01} = \dfrac{180^\circ - (\theta_1 - \theta_0)}{2} = \dfrac{180^\circ - (73.2^\circ - 3.5^\circ)}{2} = \dfrac{110.3^\circ}{2} = 55.15^\circ$；右侧测量：$\alpha_{02} = \dfrac{180^\circ + \theta_0 - \theta_2}{2} = \dfrac{180^\circ + 3.5^\circ - 293.0^\circ}{2} = 54.75^\circ$。取平均 $\alpha_0 = \dfrac{\alpha_{01} + \alpha_{02}}{2} = \dfrac{55.15^\circ + 54.75^\circ}{2} = 55.0^\circ$，与方法 1 一致。

(7) 第（2）问 · 折射率及其不确定度 测量公式 $n = \tan\alpha_0 = \tan 55.0^\circ = 1.4281$。角坐标最小刻度为 1°，取系统误差（仪器误差）$\Delta\alpha_0 = 0.5^\circ$。由 $n = \tan\alpha_0$ 得 $\Delta n = \dfrac{\Delta\alpha_0 \cdot \pi/180}{\cos^2\alpha_0} \approx \dfrac{2\cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha_0 \cdot \pi/180}{1}$ 量级估计：$\Delta n \approx \dfrac{0.5 \times 0.01745}{\cos^2 55.0^\circ} \times (\text{双侧平均修正}) \approx 0.03$（按本站建模：双侧取平均后 $\Delta\alpha_0 \approx 0.25^\circ$，$\Delta n = \dfrac{0.25 \times \pi/180}{\cos^2 55.0^\circ} = 0.027$）。故折射率取三位或四位有效数字：$n = 1.43$ 或 $n = 1.428$。回代核对：$\tan 55.0^\circ = 1.4281 \in (1.39, 1.50)$，符合要求。



测量原理图：激光以布儒斯特角入射黑色平板，反射光由光电池接收，万用表微安挡读光电流

减少系统误差的三个要点：双侧测量布儒斯特角（相当于分光计左右读数窗）、调整激光光路通过转台中心轴并与中心轴垂直、转动激光源至反射光强随入射角变化最明显的最佳角度。

2. 实验题 · 22分

答案 （1）偏振化方向与指针的等效夹角 $\Delta\beta = 69.1^\circ \pm 0.5^\circ$；（2）去本底后光电流 $i - i'$ 与 $\cos^2\varphi$ 成良好线性关系，即光电池光电流与入射光强成线性关系

详解

(1) 第（1）问 · 测量原理与方法（原理图2分，方法2分） 在激光以布儒斯特角 α_0 入射黑色平板的情况下，转动激光器 A 使反射光强较强时固定激光器，从而由黑色平板反射获得有一定光强的线偏振光源，其光矢量垂直于入射面。再在光路中放入偏振片 P，旋转偏振片，用光电池与万用表观测透射光的光电流信号，记录光电流极大或极小时偏振片指针的角坐标 β。判据：光电流极大时，偏振片偏振化方向垂直于入射面（竖直方向）；光电流极小时，偏振片偏振化方向平行于入射面（水平方向）。由极大、极小角坐标即可确定偏振化方向与指针的等效夹角 $\Delta\beta$。

(2) 第（1）问 · 数据记录（2分） 对偏振片往返转动测量 8 次（极大、极小各 4 次），光电流极值处角坐标 β 依次为 $69.8^\circ, 158.0^\circ, 249.0^\circ, 337.5^\circ, 68.5^\circ, 160.0^\circ, 250.0^\circ, 339.8^\circ$；对应的等效夹角 $\Delta\beta$ 为 $69.8^\circ, 68.0^\circ, 69.0^\circ, 67.5^\circ, 68.5^\circ, 70.0^\circ, 70.0^\circ, 69.8^\circ$（极小位置需加减 180° 折算）。平均值 $\overline{\Delta\beta} = \dfrac{1}{8}\sum\Delta\beta_k = 69.075^\circ \approx 69.1^\circ$。

(3) 第（1）问 · 不确定度评定与结果表达式（4分） A 类不确定度：$s = \sqrt{\dfrac{\sum(\Delta\beta_k - \overline{\Delta\beta})^2}{8-1}} \approx 0.98^\circ$，$u_A = \dfrac{s}{\sqrt{8}} \approx 0.35^\circ$。B 类不确定度：取仪器误差 $\Delta_{仪} = 0.5^\circ$，$u_B = \dfrac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}} \approx 0.29^\circ$。合成不确定度 $u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.35^2 + 0.29^2}^\circ \approx 0.46^\circ \approx 0.5^\circ$。结果表达式：$\Delta\beta = \overline{\Delta\beta} \pm u = 69.1^\circ \pm 0.5^\circ$。

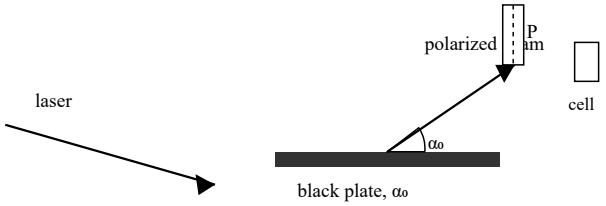
(4) 第（2）问 · 实验方案（3分）与方案依据 利用上题光路：经黑色平板布儒斯特角反射后得到较强的线偏振光入射到偏振片。设入射光强为 I_0、出射光强为 I，入射光光矢量与偏振片偏振化方向夹角为 φ，由马吕斯定律

$$I = I_0\cos^2\varphi$$

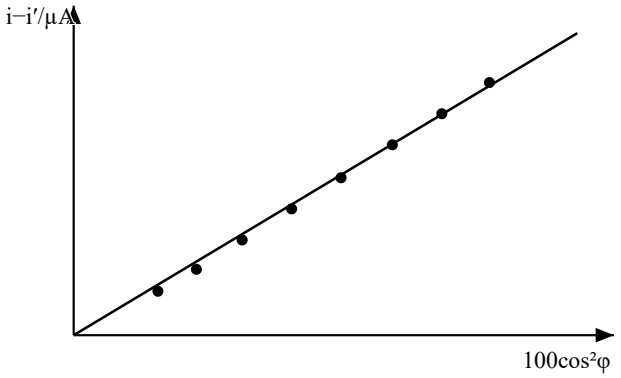
出射光强 I 与 $\cos^2\varphi$ 成线性关系。由于光电池在线性范围内工作时光电流 i 与入射光强 I 成正比，故测量光电流 $i(\varphi)$ 随 $\cos^2\varphi$ 的关系即为光电流与光强的关系。其中 $\varphi = \beta - \Delta\beta$。旋转偏振片改变 φ，逐点测 $i(\varphi)$，作图判定。

(5) 第（2）问 · 数据记录与处理（3分） 先挡光测得本底光电流 $i' = 3.0\,\mu\text{A}$；取 $\Delta\beta = 69.1^\circ$，$\varphi = \beta - \Delta\beta$。实测数据如下表：$\beta = 80.0^\circ, 90.0^\circ, 100.0^\circ, 110.0^\circ, 120.0^\circ, 130.0^\circ, 140.0^\circ, 150.0^\circ$ 时 $i = 286, 265, 231, 181.1, 128.7, 75.8, 36.1, 10.0\,\mu\text{A}$；对应 $\varphi = 10.9^\circ, 20.9^\circ, 30.9^\circ, 40.9^\circ, 50.9^\circ, 60.9^\circ, 70.9^\circ, 80.9^\circ$；$100\cos^2\varphi = 96.4, 87.3, 73.6, 57.1, 39.8, 23.7, 10.7, 2.5$；去本底后 $i - i' = 285.7, 264.7, 230.7, 180.8, 128.4, 75.5, 35.8, 9.7\,\mu\text{A}$。抽检：$\varphi = 40.9^\circ$，$\cos^2 40.9^\circ = 0.571$，$285.7 \times 0.571/0.964 = 169.3\,\mu\text{A}$ 与实测 $180.8\,\mu\text{A}$ 在读数与非线性误差范围内相符。

(6) 第（2）问 · 作图与结论（5分） 以 $100\cos^2\varphi$ 为横轴、$i - i'$ 为纵轴作图（须标注物理量与单位、坐标分度、图名，描 6 个以上实验点并连光滑曲线）。实验点近似落在一条过原点的直线上，即在测量范围内光电流与 $\cos^2\varphi$ 有良好的线性关系；由马吕斯定律 $I = I_0\cos^2\varphi$ 可知，光电池的光电流与入射光强成线性关系。



测量原理图：激光以布儒斯特角 α_0 入射黑色平板，反射线偏振光经偏振片 P 后由光电池接收



去本底光电流 $i-i'$ 随 $100\cos^2\varphi$ 的关系图（实验点近似落在过原点直线上）

光电流极大对应偏振化方向垂直于入射面（竖直），极小对应平行于入射面（水平）；作图前必须扣除本底光电流 $i' = 3.0\,\mu\text{A}$。

3. 实验题 · 16分

答案　（1）测得光矢量平行于入射面的线偏振光反射率 R 随入射角 α 变化曲线：α 由 5° 增至 55° 时 R 由约 3.7% 降至 0（布儒斯特角附近），α 再增大时 R 急剧上升至 50.7%；（2）外推得垂直入射时 $R \approx 3.8\%$

详解

(1) 第（1）问 · 测量方案与简要步骤（原理图2分，方法4分）　(a) 转动偏振片，使偏振片指针指向 $90^\circ + 69.1^\circ = 159.1^\circ$，此时透射光的光矢量平行于入射面；(b) 在激光光路经过转台中心轴并垂直于黑色平板表面的情况下，转动激光器使激光通过偏振片的光强较强；(c) 在没有黑色平板的情况下，测量背景本底光电流 $i_0' = 0.6\,\mu\text{A}$ 和激光源出射光光电流 $i_0 = 2.30\times10^3\,\mu\text{A}$，并记录此时激光光线在光学平台上的角坐标 $\theta_0 = 185.0^\circ$；(d) 装上黑色平板，转动转台，测不同入射角 α 时反射光的光电流 i 与本底 i'，光电池所在转动臂角坐标为 θ。原理图中须标注激光器、偏振片、黑色平板、光电池及角度。

(2) 第（1）问 · 测量公式（2分） 入射角：

$$\alpha = \frac{\theta - \theta_0}{2}$$

（$\theta_0 = 185.0^\circ$）。反射率：

$$R = \frac{i - i'}{i_0 - i_0'}$$

其中 i 为有平板反射时的光电流，i' 为对应本底，i_0、i_0' 为无平板时的出射光与本底光电流。回代核对：$\theta = 355.0^\circ$ 时 $\alpha = (355.0 - 185.0)/2 = 85.0^\circ$；$\theta = 210.0^\circ$ 时 $\alpha = 12.5^\circ$，与数据表一致。

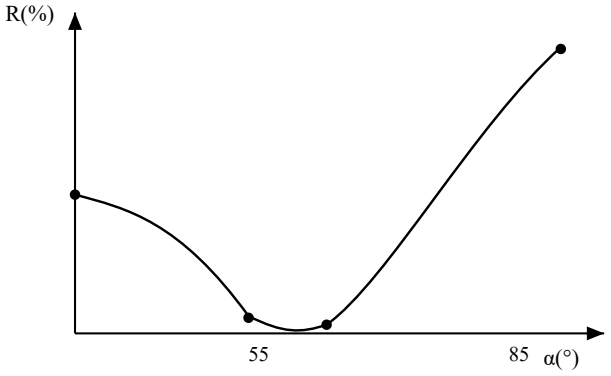
(3) 第（1）问 · 数据记录与处理（3分） 无平板时 $i_0 = 2.30 \times 10^3\,\mu$A，$i_0' = 0.6\,\mu$A，$\theta_0 = 185.0^\circ$。部分数据（$\theta, i, i', \alpha, i - i', R$）：$355.0^\circ, 1166, 6.0, 85.0^\circ, 1165.4\,\mu$A, 50.7%；$345.0^\circ, 589, 0.4, 80.0^\circ, 588.6\,\mu$A, 25.6%；$325.0^\circ, 97.3, 0.3, 70.0^\circ, 97.0\,\mu$A, 4.22%；$315.0^\circ, 33.6, 0.3, 65.0^\circ, 33.3\,\mu$A, 1.45%；$305.0^\circ, 3.9, 0.3, 60.0^\circ, 3.6\,\mu$A, 0.16%；$300.0^\circ, 0.3, 0.3, 57.5^\circ, 0.0\,\mu$A, 0.00%；$295.0^\circ, 0.5, 0.3, 55.0^\circ, 0.2\,\mu$A, 0.00%；$285.0^\circ, 6.5, 0.4, 50.0^\circ, 6.1\,\mu$A, 0.26%；$270.0^\circ, 24.6, 0.6, 42.5^\circ, 24.0\,\mu$A, 1.04%；$220.0^\circ, 77.0, 1.1, 17.5^\circ, 75.9\,\mu$A, 3.30%；$195.0^\circ, 86.9, 2.0, 5.0^\circ, 84.9\,\mu$A, 3.69% 等（共 26 组，$R = (i - i')/2299.4$）。抽检：$\theta = 345^\circ$，$R = 588.6/2299.4 = 0.2560 = 25.6\%$，正确。

(4) 第（1）问 · 作图与曲线特征（作图3分） 以入射角 α 为横轴（单位度）、反射率 R 为纵轴（单位 %）作图，标注物理量、单位、分度与图名，描出全部 20 个以上实验点并连光滑曲线。曲线特征：α 从 5° 增大到约 55° 时，R 从约 3.7% 平缓下降并在 $\alpha \approx 55^\circ$ 处降为 0——这正是布儒斯特角位置，与第 1 题测得 $\alpha_0 \approx 55.0^\circ$、光矢量平行于入射面的分量反射率为零的结论自洽；$\alpha > 55^\circ$ 后 R 随 α 急剧增大，在 $\alpha = 85^\circ$ 处达 50.7%。

(5) 第（2）问 · 垂直入射反射率（2分） 利用外推法：将 $R - \alpha$ 曲线在 $\alpha \to 0^\circ$ 一端（$\alpha = 5^\circ \sim 17.5^\circ$ 的数据点）顺势外推延长至 $\alpha = 0$，由引长线与纵轴交点读得该线偏振光垂直入射黑色平板时的光强反射率

$$R \approx 3.8\%$$

结果在评分要求的 3% ~ 5% 范围内；该值略大于小角度实测值约 3.7%，符合 R 随 α 减小而缓慢增大的物理趋势。



反射率 R 随入射角 α 的关系曲线：α≈55°（布儒斯特角）处 R 降为 0

反射率公式中入射光电流 i_0 须在无平板时测定，且每次读数都要同时扣除本底 i'；作图点数需 20 组以上。

逐光知理 · 竞赛答案册 · 易错点速查

第36届全国中学生物理竞赛决赛实验二（光偏及应用研究） · 易错点速查

补在原册之后：原册答案与详解未作任何改动

共 4 条 · 绑定本卷题号

只挑本卷最容易失分的动作，按「错法 / 机理 / 正解」三段写，题号与原册一致；公式沿用原册口径。

第 1 题 · 第(1)(2)问

错法 布儒斯特角只在单侧读数，直接把转台转角当入射角；或由角坐标算 α_0 时用单侧公式配双侧读数；折射率写成 $n=\sin\alpha_0$（或 $1/\tan\alpha_0$）。

机理 反射光在平板两侧各有一个布儒斯特位置，单侧读数含转台零点偏心误差，双侧取平均才能消除；双侧几何关系为 $\alpha_0=(\theta_2-\theta_1)/4$，单侧分别为 $\alpha_{01}=[180^\circ-(\theta_1-\theta_0)]/2$、$\alpha_{02}=[180^\circ+\theta_0-\theta_2]/2$，混用会把角度算偏。布儒斯特角满足 $\tan\alpha_0=n$（入射角与折射角互余），不是正弦关系。

正解 左右两侧各记一次极值角坐标，双侧取平均 $\alpha_0=(\theta_2-\theta_1)/4$；再由 $n=\tan\alpha_0$ 算折射率，不确定度按 $\Delta n\approx\frac{\Delta\alpha_0}{\cos^2\alpha_0}\cdot\pi/180$ 估算。

第 2 题 · 第(1)问

错法 把光电流极小时的偏振化方向当作垂直于入射面；极小位置的角坐标不加减 180° 折算就并入平均。

机理 布儒斯特角反射光的光矢量垂直于入射面；偏振片偏振化方向与该方向平行时光电流极大，垂直时（即平行于入射面）光电流极小。偏振片转一周，极大、极小位置相差 90°，相邻同名极值相差 180°，跨 0/360° 刻度的极小读数须先加减 180° 折算到同一量程再取平均。

正解 极大处偏振化方向垂直于入射面（竖直），极小处平行于入射面（水平）；由极大、极小角坐标确定等效夹角 $\Delta\beta$，跨圈的极小位置先 ±180° 折算，往返 8 次取平均并评定 A、B 类不确定度。

第 2 题 · 第(2)问

错法 验证马吕斯定律时把光电流对 φ 或 $\cos\varphi$ 作图；或不挡光测本底，直接用原始光电流描点。

机理 马吕斯定律 $I=I_0\cos^2\varphi$，出射光强正比于 $\cos^2\varphi$，只有以 $\cos^2\varphi$ 为横轴，实验点才应落在过原点直线上；对 φ 或 $\cos\varphi$ 作图得到的是曲线，无法判定线性。光电池存在本底输出，不扣除会把本底算进信号，直线截距偏离原点。

正解 先挡光测本底光电流 i'，各点取净信号 $i-i'$；以 $\cos^2\varphi$ 为横轴、$i-i'$ 为纵轴作图，点近似落在过原点直线上，即说明光电流与入射光强成线性。

第 3 题 · 第(1)(2)问

错法 算反射率时分母直接用有平板时的反射光电流，或忘记每次读数扣除本底 i'；把平行分量在布儒斯特角附近的反射率记成急剧上升。

机理 反射率是反射光强与入射光强之比，入射光电流 i_0 必须在无平板时测定，分母为 i_0-i_0'；有平板时的 i、i' 是反射支路，不能当入射基准。每次读数都要同时扣本底，否则弱反射点的相对误差被本底放大。光矢量平行于入射面的分量在布儒斯特角处反射率为零，角增大过布儒斯特角后才急剧上升。

正解 反射率 $R=\frac{i-i'}{i_0-i_0'}$，i_0、i_0' 无平板测定；作 $R-\alpha$ 曲线，平行分量在 $\alpha\approx55^\circ$ 处降至 0，α 再增大时 R 急剧上升；垂直入射端由小角度点外推得 $R\approx3.8\%$。