第 43 届全国中学生物理竞赛决赛实验考试标准答案

试题一 弗兰克-赫兹实验

第一题（35 分）

1.1（1 分）

温度升高，单位长度内电子与汞原子碰撞概率 增大 。（1 分）。

1.2（4 分）将题图 1（a）中电源正确填入 F-H 管的电路图。（4 分）。

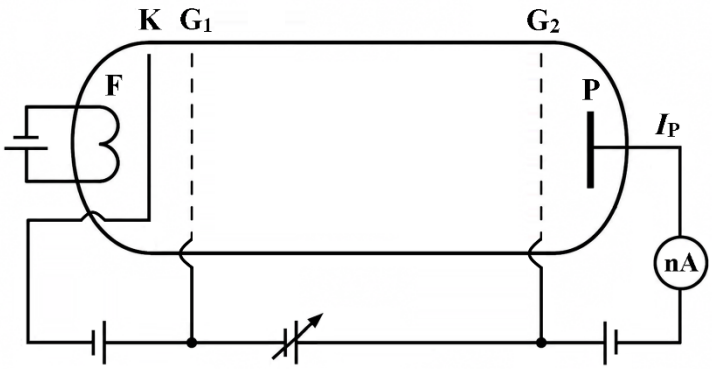


图 1：（a）F-H 实验装置示意图

1.3（6 分）

当 U_F 从 1.3 V 增加到 1.5 V 时，曲线最主要的一项变化是 板极电流强度整体增加 。（1 分）。

主要原因是 阴极温度升高，发射电子数目增多 。（1 分）。

当 U_{G2P} 从 0.5 V 增加到 2.0 V 时，曲线特征的两项主要变化是 强度整体减小 （1 分）

和 对比度（或峰谷差）提高 。（1 分）。

对应的主要原因分别是 能克服拒斥电势的电子数目减少 （1 分）

和 对低能量电子筛选更显著 。（1 分）。

1.4（6 分）

利用最小二乘法计算汞原子的第一激发电势 U_1 等于 5.18 V（保留三位有效数字）。（2 分）。

曲线上第 5 个谷（电压 28.8 V）的物理意义是 电子与汞原子发生五次非弹性碰撞 。（1 分）。

曲线上 I_P 极小值不为零，主要原因是 一部分电子没有发生非弹性碰撞 。（1 分）。

随加速电压增加，I_P 极小值增大的主要原因是 电子与汞原子发生多次非弹性碰撞概率降低（只答本底电流增加原因，不得分） 。（1 分）。

随加速电压增加，曲线上相邻峰和谷之间的电流差主要变化特征 先增大再减小 。（1 分）。

1.5（6 分）

电压信号 U_{out} 接入示波器的 CH2 通道。（1 分）。

实验仪的输出电压 U_{G2K} 需要如何处理 衰减或分压 （2 分）

后才能接入示波器的 CH1 通道。（1 分）。

若要示波器显示 I_P-U_{G2K} 曲线，则示波器显示模式应设置为 X-Y 。（1 分）。

运算放大器的反馈电阻 R 最优取值为 C 。（1 分）。

1.6（5 分）

增加碰撞时电子处于高能量的概率，为此实验上需要 降低 F-H 管的温度。（1 分）。

将题图中电源正确填入答题纸电路图中以获得高激发态曲线。（4 分）。

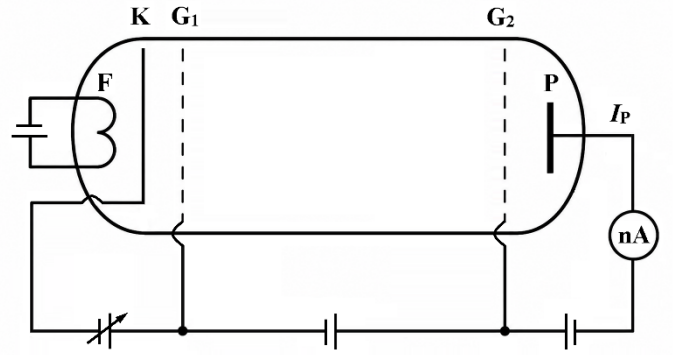


图 1.6：高激发态测量电路图

1.7.1（5 分）根据题表 1.7.1 数据，利用最小二乘法线性拟合计算不同温度的零场电流 lg$I$（I 的单位为安培 A），填入题表 1.7.2 中（保留三位有效数字）。（5 分）。

表 1.7.2 不同灯丝温度下的零场电流 lg$I$

T/K	1800	1880	1960	2040	2120
lg$I$	-5.58	-4.97	-4.46	-3.98	-3.52

1.7.2（2 分）

电子逸出功 $e\varphi$ 为 4.51 eV（保留三位有效数字）。（2 分）。

试题二 表面等离激元

第二题（45 分）

2.1（2 分）

则金属和电介质的介电常数必须满足的条件是（　　C　　）。　　（2 分）。

2.2（2 分）

实验中使用高折射率棱镜的目的是：增大横向波矢或完成波矢匹配。（2 分）。

2.3（5 分）。

此时如何检验是否重合良好：转动载物台圆盘，观察半圆柱棱镜平面上光斑位置是否改变或转动载物台圆盘，测量入射光与反射光角度，角度是否相等。（2 分）。

临界角为 41° 15′（用度分表示），（2 分）。

棱镜的折射率为 1.517（保留四位有效数字）。（1 分）。

2.4（4 分）

图中曲线有三个显著特征区(I、II、III)，说明各自物理含义：

I 区：部分反射区，（1 分），

II 区：全反射区，（1 分），

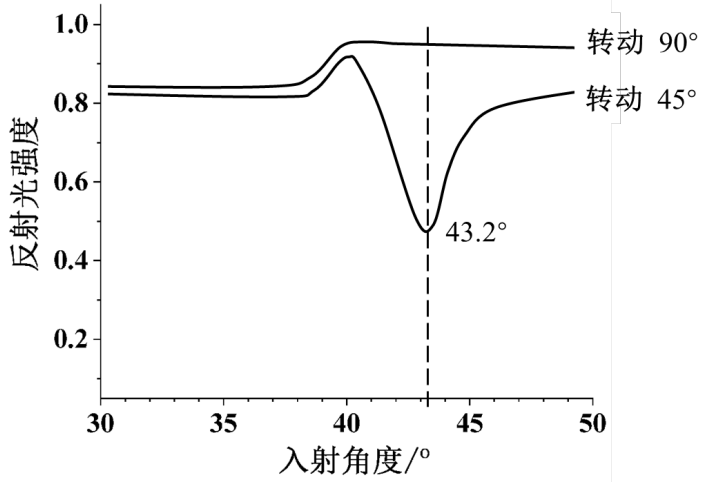
III 区：SPR 共振吸收区。（1 分）。

根据图中数据计算金薄膜/空气界面 SPP 有效折射率（k_{spp}/k_0）为 1.038（保留四位有效数字）。（1 分）。

2.5（4 分）

在题附图画出对应的反射光强与角度关系示意图。

90°在全反角上升后不改变，45°在全反后上升，在共振角附近衰减，衰减幅度比旋转前小。（4 分）。



2.5 附图

2.6（2 分）

金薄膜的介电常数 ε_{Au} 为 -13.6 （保留三位有效数字）。（1 分）。

则 $\theta_{SPP}=73.5^{o}$，计算该混合物的折射率为 1.35 （保留三位有效数字）。（1 分）。

2.7（3 分）

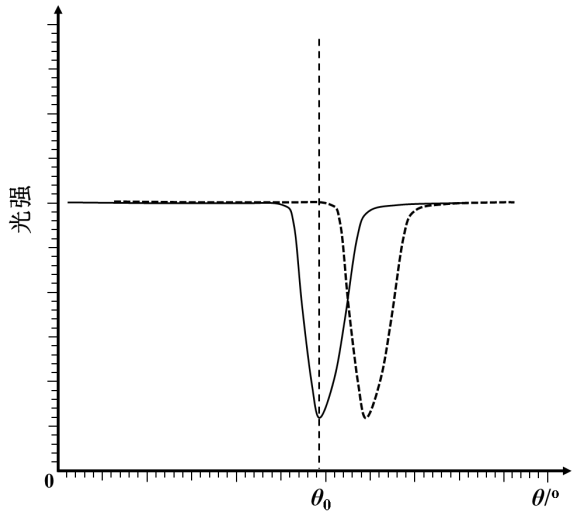
总结曲线随厚度增加的变化规律 共振角变小 ；（1 分） 对比度（或深度）先增大后减小 ；（1 分）谷宽度减小 。（1 分）。

2.8（4 分）

说明分析仪的具体工作原理 配体捕获特异性分子后，折射率变化（1 分），SPR 共振角变化 。（1 分）。

在题附图上，分别用实线和虚线画出液体加入生物分子（折射率大于液体折射率）前、后的 CCD 探测到的光强分布曲线。（2 分）。

光强分布曲线的 SPR 共振角向大角度方向移动



2.8 附图

2.9（5 分）

CCD 得到的图像如题图 2.9（c）所示，说明图像中三个区域各自的物理含义：

I 区： 部分反射区 。（1 分）。

II 区： 全反射区 。（1 分）。

III 区: 超出NA无信号 。（1 分）。

利用 CCD 图像可计算待测液体的折射率，给出折射率计算公式 $n_0=\frac{r_1}{r_2}\cdot NA$ 或 $n_0=1.49\frac{r_1}{r_2}$。（2 分）。

2.10（2 分）

实验中必须使用高数值孔径 NA 的油浸物镜的最主要原因是（ B ）。（2 分）。

2.11（5 分）

说明图中出现暗弧的物理原因 表面等离激元共振（SPR） ；（1 分）

以及竖直方向没有出现暗弧的物理原因 竖直方向光是 S 偏振 。（2 分）。

利用该图可计算金薄膜的介电常数 ε_{Au}，说明方法 测量图像中暗环位置的 r 和 NA 位置的 r_2，

由比值求得 SPP 有效折射率，再求出介电常数 。（1 分）。

如果去掉单色滤光片，说明图像的变化： 图像界面变模糊，对比度降低 。（1 分）。

2.12（7 分）

利用题 2.4 测得的 SPP 有效折射率，可算得 Λ 为 665 nm（保留三位有效数字）。（1 分）。

说明此时 CCD 探测到的后焦面图像主要特征 中心亮斑 （1 分）和 左右对称的两个亮点 。（1 分）。

如果希望进一步利用显微镜观察上述被激发的 SPP 离开周期性结构之后在界面上的传播图像，

应如何调整实验装置 调节 CCD 或透镜位置使 CCD 对样品平面成像 。（2 分）。

为尽可能提高 SPP 成像对比度，应该对后焦面进行何种操作 在后焦面处加入空间滤波 ，

以滤除（遮挡）中心亮斑；或滤出（透射）两个亮点 。（2 分）。