第39届全国中学生物理竞赛决赛实验试题

物 理 竞 赛 实 验 试 题

2022 年 | 决赛实验考试

考 生 须 知

1. 注意：选择题中有多选题，多于或少于正确选择，该题都不得分！

一、 试题一　在分光计上测透明液体折射率（10 分）

图 1-1 是掠入射法测量液体折射率的实验原理图。在折射率为 n 的三棱镜光学面 AB 上滴 1-2 滴折射率为 n_x 的待测液体，满足 $n_x<n$。将一玻璃板轻轻贴在该面上，可在玻璃板和 AB 面之间形成均匀薄层液膜。单色扩展光源发出的光经过毛玻璃屏后掠入射玻璃板和液膜。AC 面出射光可偏向顶角 C 的方向或者偏向顶角 A 的方向出射。若三棱镜的顶角 A 为 φ，测量出射视场的明暗分界线对应的出射角为 θ，即可计算待测液体折射率。

请在答题纸上完成问题 1-1—1-10。

1-1. （1 分）

写出待测液体折射率 n_x 的计算公式（n、φ、θ 为参数）。

1-2. （1 分）

实验中利用分光计可以准确测量 AC 面视场明暗分界线对应的出射角。将三棱镜放置在载物台上并调整好分光计。若 AC 面法线方向对应的双游标位置分别为 θ_1 和 θ_2，AC 面出射光的明暗分界线对应方向的双游标位置分别为 θ_1' 和 θ_2'，给出 θ 的表示式。使用分光计测量角度时为什么要读取双游标值?

图待补

毛玻璃、待测液体、棱镜 n、φ、θ 待补

图 1-1

1-3. （1 分）

分光计望远镜调整好后，调整分光计平行光管时，发现钠光灯（λ=589.3 nm）照明的狭缝像较为模糊，下列调节方法哪些是不正确的?

A. 调节目镜调焦手轮，使狭缝像最清楚；
B. 前后移动目镜，使狭缝像最清楚；
C. 前后移动狭缝，使狭缝像最清楚；
D. 调亮环境光。

1-4. （0.5 分）

将三棱镜放在载物台上时，望远镜观察到绿十字像很淡。关于此现象正确的说法和做法有哪些?

A. 棱镜和望远镜筒中心高度偏离过大；
B. 三棱镜表面的反射率远小于双面反射镜的反射率；
C. 调亮环境光后可以将绿十字反射像看得更清楚；
D. 调暗或遮挡环境光后可以将绿十字看得更清楚；
E. 前后移动望远镜目镜，可以将绿色十字反射像看的更清楚。

1-5. （0.5 分）

在用分光计测量角度过程中，若不慎触碰了望远镜的俯仰调整螺钉，此时用双面反射镜观察十字反射像时可能会出现哪些现象？

A. 一面反射像偏上，另一面反射像偏下，偏离程度相同；

B. 一面反射像偏上，另一面反射像偏下，偏离程度不同；

C. 两面反射像都偏上或者都偏下；

D. 看不见反射像。

1-6. （2 分）

若实验中观察到 AC 面明暗分界线方向出现在偏向顶角 C 的方向，本题附图是测量 θ 角时分光计游标盘的位置图片，请读出 θ_1、θ_2、θ_1' 和 θ_2' 的角度值。若已知三棱镜折射率 n=1.655，顶角 φ=60°，计算待测液体的折射率 n_x。如果不确定度只保留 1 位，写出 $\sin\theta_1$ 的值。

图待补

原卷为实物照片，游标读数待补

图 1-6 题

1-7. （1 分）

本题附图所示是另一种实验方案，即将图 1-1 中的玻璃板换为折射率为 n_1 的辅助棱镜。关于加入辅助棱镜可能对实验测量的影响，下列哪些说法是不正确的？

图待补

辅助棱镜 n_1、底角 α、A、B、C 待补

图 1-7 题

A. 合适的辅助棱镜可以提高照射到液体膜层的掠入射光通量，增大明暗分界线的对比度；

B. 辅助棱镜可以增加实验中的视场范围；

C. 辅助棱镜的折射率应尽量小一些，接近待测液体折射率；

D. 辅助棱镜的底角 α 大小也会影响辅助棱镜的作用。

1-8. （1 分）

在实验中观察棱镜 AC 面的明暗分界线时，有时可在亮区中看到一些明暗交替的条纹，简单解释该条纹产生的原因。

1-9. （1 分）

本题附图是以分光计平行光管狭缝作为光源，利用辅助等边三棱镜测量透明液体折射率的原理图。在两反射面 AC 和 DE 之间构造液膜，两三棱镜顶角均为 60°，待测透明液体折射率为 n_0 且小于两三棱镜折射率。若平行光从本题附图所示 AB 面法线下方一侧以一定入射角入射时（入射点远离 B 点），从 DF 面可以观察到出射光。改变入射角 i_1 使 AC 面上入射光满足全反射条件时，DF 面上出射光将消失，测量此临界入射角 i_{10}，可计算待测透明液体的折射率。当两三棱镜的折射率 n=1.655，利用此方法是否可测量折射率 n_0=1.440 的透明待测液体？说明原因。

图待补

A、B、C、D、E、F、待测液体、i_4 待补

图 1-9 题

1-10. （1 分）

若上一问中使用汞灯照射分光计狭缝，汞灯谱线如本题附表所示。若三棱镜折射率 n 与光波波长 λ 的关系近似满足 $n=1.632+\frac{7190}{\lambda^2}$，待测液体折射率 n_0 与波长关系近似满足 $n_0=1.319+\frac{5980}{\lambda^2}$，$\lambda$ 单位为 nm，则入射角 i_1 从零度沿逆时针方向增大时，本题附表中哪条谱线最先从 DF 面出射？

λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7
404.66nm	435.84nm	491.60nm	496.03nm	546.07nm	576.96nm	579.07nm

二、 试题二　测量液体电介质的介电常数（15 分）

图 2-1 为 RC 串联电路示意图，请回答下列问题。

请在答题纸上完成问题 2-1—2-8。

2-1. （2 分）

开关 S 转到位置 1 接通信号源，使用示波器通道 1 输入端观测电容、电阻两端的电压信号。下列哪些示波器输入端联接方式的描述是正确的？

A. 观测电容两端电压，图中连线方式正确；

B. 观测电容两端电压，图中连线方式不正确；

C. 观测电阻两端电压，示波器红色端子接 B 点，黑色端子接 A 点；

D. 观测电阻两端电压，示波器红色端子接 A 点，黑色端子接 B 点；

E. 观测电阻两端电压，交换电阻与电容，示波器红色端子接 B 点，黑色端子接 F 点；

F. 观测电阻两端电压，交换电阻与电容，示波器红色端子接 F 点，黑色端子接 B 点。

图待补

生器、开关 S、电阻 R、电容 C、示波器、红/黑端

图 2-1

2-2. （3 分）

若实验中使用测量范围为 0-99999.9 Ω 的电阻箱，电阻箱各档位的准确度等级如本题附表所示。使用准确度等级为 0.5 级，测量范围为 0-1.1110 μF 的电容箱。若电阻箱阻值 R 为 412.1 Ω，电容箱电容值 C 为

0.9700 μF，计算对应读数的仪器误差 ΔR 和 ΔC。若电阻箱和电容箱的误差符合均匀分布，计算该 RC 电路的时间常数，给出时间常数 τ 的标准不确定度公式并计算其值。

档位	×0.1	×1	×10	×100	×1000	×10000
准确度等级	0.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1

2-3. （1 分）

若将信号发生器输出的峰峰值 4 V，频率 100 Hz 的方波信号接入到示波器通道 1，用示波器直接观察到该方波信号如本题附图所示，电压信号有明显倾斜，下列哪一个选项是最可能的原因？

A. 示波器竖直方向加载电压非线性响应；

B. 示波器水平方向扫场电压非线性响应；

C. 通道 1 的 Y 轴衰减档非线性响应；

D. 示波器通道 1 的输入信号耦合方式是 DC 档；

E. 示波器通道 1 的输入信号耦合方式是 AC 档。

图待补

原卷为示波器照片，波形待补

图 2-3 题

2-4. （2 分）

若信号发生器输出峰峰值为 4 V，频率为 1 kHz 的方波信号。电阻 R=400 Ω，电容 C=5 μF。本题附图 a 是信号源的方波信号，在开关转到 1 后，使用示波器检测电容 C 两端的电压信号，说明本题附图 b、c 和 d 中哪条曲线是电容 C 两端的电压信号？

图待补

实测曲线待补，不臆造波形

图 2-4 题

2-5. （3 分）

若调整信号发生器输出峰峰值为 4 V，频率为 50 Hz 的正弦交流电，取电阻 R=500 Ω，电容值 C 在 1 μF 到 2 μF 之间，本题附图中电压信号 a 和 b 的 Y 轴灵敏度分别为 1 V/div 和 300 mV/div，说明本题附图中曲线 a 和 b 中哪条是示波器上观察到的电阻两端的电压信号？请通过在本题附图中粗测信号的峰峰值来计算电容 C 的值。

图待补

实测曲线待补，不臆造幅值

图 2-5 题

2-6. （1 分）

根据 2-5 题中电容和电阻上的电压信号及相位信息，设置双路输出的信号源输出信号，并输入双通道示波器的通道 1 和通道 2，调整示波器观察这两个通道信号形成的李萨如图，得到的图形最接近本题附图中哪一个？

图待补

实测图形待补

图 2-6 题

2-7. （2 分）

开关 S 从位置 1 转到位置 2 时，电容器通过电阻 R 放电。若实验中电容 C 由边长 10 cm，间距 d 为 4 mm 且中间为某种绝缘液态介质的

平行金属极板构成，电容 $C=\frac{\varepsilon_r\varepsilon_0 S}{d}$，其中 S 为极板面积，d 为极板间距，ε_r 为介质的相对介电常数，$\varepsilon_0=8.854\times10^{-12}\,\mathrm{F/m}$ 为真空介电常数。电阻 $R=500\,\Omega$，本题附图为某时刻将开关 S 转到 2 后，测量得到放电过程中电容两端电压随时间变化曲线。请通过在本题附图上粗测来估算电容 C 的值以及该液体的相对介电常数 ε_r。

图待补

实测曲线待补，不臆造时间常数

图 2-7 题

2-8. （1 分）

介质中光的折射率 $n\approx\sqrt{\varepsilon_r}$。若题 1-6 与题 2-7 中的待测液体为同一种，两种方法测得的相对介电常数近似相等吗？为什么？

三、 试题三　测量金属丝的泊松比（15 分）

通常一根粗细均匀的金属丝在被拉伸时其横向直径同时会变小。若将伸长量 ΔL 与金属丝的原始长度 L 之比定义为纵向线应变，将横向变化量 Δd 与金属丝的原始横向长度 d 之比定义为横向线应变。在材料弹性范围内，横向线应变 $\Delta d/d$ 与纵向线应变 $\Delta L/L$ 之比为常数 μ，被称为材料的泊松比：

$$\frac{\Delta d}{d}=-\mu\frac{\Delta L}{L}$$

图 3-1 是劈尖干涉法测量金属丝直径的原理图，在两块光学平板玻璃的一端插入金属丝即构成空气劈尖，使用钠光灯作为光源照射劈尖时可观察到等厚干涉直条纹，此时金属丝直径 d 满足关系式：

$$d=\frac{n\lambda}{2l_n}$$

其中 λ 为钠光灯波长，可取为钠光双黄线（589.0 nm，589.6 nm）的平均波长 589.3 nm，l_n 为 n 个条纹的总长度，l 为劈尖棱边到金属丝的距离。实验中使用读数显微镜测量 50 个条纹的长度 l_n 和劈尖长度 l。

请在答题纸上完成问题 3-1—3-7。

图待补

单色光、d、ln、l、n 条纹待补

图 3-1

3-1. （2 分）

本题附图是用读数显微镜测量 50 条条纹长度 l_n 时起始位置 l_{n0} 和末态位置 l_{n1} 及测量劈尖长度时起始位置 l_0 和末态位置 l_1 的主尺和微调鼓轮位置照片，读出 l_{n0}、l_{n1}、l_0 和 l_1 的值，计算金属丝的直径 d。

图待补

原卷为实物照片，l_0、l_1、$\ln_0$、$\ln_1$ 读数待补

图 3-1 题

3-2. （2 分）

若用 σ_l 和 σ_{ln} 分别表示 l 和 l_n 的极限最大不确定度，读数显微镜误差分布符合正态分布，请给出用 σ_l、σ_{ln}、l、l_n、n 和 λ 表示的 d 的标准不确定度表达式。

3-3. （2 分）

实验中发现干涉条纹在劈尖棱附近最清晰，较远处变得模糊不清，更远处又变清晰，请解释可能的原因。

3-4. （2 分）

直径为 0.20 mm、长为 1.00 m、泊松比为 0.3 的金属丝的纵向伸长为 1.00 mm 时，其横向直径变化量为多少？使用螺旋测微器测量伸长前后的直径变化是否可行？使用前述劈尖干涉法呢？说明原因。

3-5. （4 分）

如本题附图所示，将金属丝当作电阻和电阻箱 R_4 串联，与 R_1、R_2 和 R_3 构成电桥电路，调整电阻箱 R_4 使电桥平衡，U_g 为零，之后在砝码盘上添加砝码时，金属丝被拉伸，金属丝所在桥臂电阻发生变化，若假设金属丝电阻率为常数，且金属丝拉伸时电阻改变量远小于平衡时的桥臂电阻，此时桥电压 U_g 和金属丝伸长量 ΔL 满足关系：

图待补

R_2、R_3、R_4、Rs、Ug、U_0、焊点、滑轮、砝码盘待

图 3-5 题

$$U_g=\frac{(1+2\mu)R_sU_0}{4(R_4+R_s)L}\Delta L$$

上式中 R_s 为不加砝码时金属丝的电阻，电阻 R_1、R_2 和 R_3 均为 50.0 Ω，通过初始电桥平衡条件得到 R_4=35.8 Ω，U_0=0.400 V。本题附表为实验测量得到的金属丝拉伸量和桥电压。若两焊点间金属丝初始长度 L=1.150 m，用最小二乘法对实验数据进行线性拟合，给出斜率 k 和斜率 k 的标准差，求出金属丝的泊松比 μ。

伸长量 ΔL (mm)	0	0.279	0.575	0.848	1.159	1.474	1.791	2.106	2.429	2.781
桥电压 U_g (mV)	0.011	0.025	0.037	0.049	0.059	0.071	0.084	0.095	0.107	0.118

3-6. （2 分）

在利用电桥测量和计算金属丝泊松比的实验中，加在电桥两端的电压过大或过小时都不利于提高实验测量精度，说明原因。

3-7. （1 分）

在实验测量过程中，人靠近焊接点时（一般距离小于 20 cm），即使不改变砝码质量，桥电压也会发生异常变化（冬季现象明显），请解释可能的原因。

四、 试题四　利用金刚石 NV 色心测磁场（40 分）

1. 引言

金刚石是由碳原子 C($1s^2 2s^2 2p^2$) 以共价键结合而形成的晶体。通常选取图 4-1 所示的单胞及坐标系来描述金刚石结构的立方晶体对称性。所谓“NV 色心”实际上是金刚石晶体中的一种缺陷，即在字母“V”标识的位置没有碳原子（空位，Vacancy），在字母“N”标识的位置，比邻空位的一个碳原子被一个氮原子取代（氮，Nitrogen）。这样的缺陷在光照时可以发出荧光，故称“色心”。研究表明，含有五个价电子的缺陷再俘获一个外来电子实现自旋组合配对，形成总自旋为 1 的稳定量子体系。

金刚石 NV 色心的自旋量子体系具有一套三重态能级体系和一套单重态能级体系，如图 4-2 所示，各能级分别用量子态的字母符号表示。外部磁场的作用会使 $M_s=+1$ 和 $M_s=-1$ 能级裂成两支。637 nm 的零声子线对应的是激发三重自旋基态到其激发态所需的最小能量，因此用波长为 532 nm 的激光作为泵浦光，可以把三重自旋基态激发到其激发态以上的声子边带区。之后，$M_s=0$ 的激发态通过辐射荧光跃迁回到其基态，而 $M_s=+1$ 和 $M_s=-1$ 的激发态，除了有一定的概率通过辐射荧光直接回到它们的基态以外，还有相当大的概率通过无辐射跃迁跳到单重态能级体系，最终间接地落在三重态的 $M_s=0$ 基态。这样，经过泵浦激光的照射，金刚石中存在的绝大多数 NV 色心都会落在 $M_s=0$ 的基态上。

对于总自旋为 1 的金刚石色心量子体系，角动量的进动以 N-V 的连线为轴，$M_s=0$、-1、$+1$ 对应于三种进动的量子状态。如果施加方向垂直于 N-V 连线的交变磁场，可以将色心的自旋角动量从 $M_s=0$ 的自旋基态激发到 $M_s=\pm1$ 的自旋基态。在无外磁场情况下，基态 $M_s=0$ 与基态 $M_s=\pm1$ 的两个能级之间的能量差对应的是微波波段的一个频率，为 2.87 GHz。因此，如果在金刚石色心上施加频率连续变化的微波磁场（微波扫频），当频率达到 2.87 GHz 时，处于 $M_s=0$ 基态的 NV 色心就会吸收微波能量，跃迁到 $M_s=\pm1$ 的基态上，这就是所谓的“磁共振”吸收现象。对于外加磁场引起 $M_s=\pm1$ 的能级分裂，扫频过程中会出现两个不同频率的磁共振。对于金刚石中存在多种取向 NV 色心的情形，扫频过程中会出现更多频率的磁共振。

这里考虑一个嵌有诸多 NV 色心的金刚石微小颗粒（~10 μm），外部磁场作用在不同取向的色心上，引起不同取向的色心出现不同程度的能级分裂。泵浦激光的照射使得金刚石颗粒中的绝大多数色心落在 $M_s=0$ 的基态上，引起较大的荧光强度。在微波扫频过程中发生磁共振时，部分处于 $M_s=0$ 基态的色心被激发到 $M_s=\pm1$ 的基态上，荧光强度因 $M_s=0$ 基态色心数目减少而减弱。这样，可以通过探测微波扫频过程中荧光强度的极小值获得引起磁共振的微波频率。将荧光强度随微波频率变化的实验数据描绘出来，得到的就是通常所说的“光探测磁共振谱”。基于这样的原理，本题探究利用金刚石 NV 色心测量磁场的实验技术和方法。



图 4-1 金刚石晶体中的 NV 色心示意图

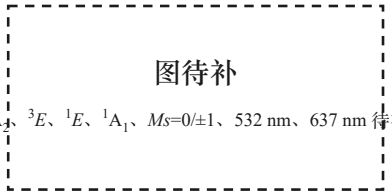


图 4-2 金刚石 NV 色心能级及泵浦辐射跃迁示意图

4-1. （2 分）

在图 4-3 所示的实验装置中，二向色镜所起的作用是下列的哪一个？

A. 对可见光全反射；

B. 对小于 532 nm 波长的光高透射；

C. 对 45 度入射 532 nm 光全反射且对大于 532 nm 波长的光高透射；

D. 对垂直入射 532 nm 光全反射且对大于 532 nm 波长的光高透。

4-2. （2 分）

用图 4-3 所示实验装置测得 NV 色心的荧光光谱如本题附图所示，选取下列哪些激光作为激发源，也可获得与此类似的结果？



图 4-2 题

A. 488 nm 激光器；

B. 514 nm 激光器；

C. 1064 nm 激光器；

D. 450 nm 激光器；

E. 780 nm 激光器。

4-3. （2 分）

在图 4-3 所示的实验装置中，滤光片的作用是减小光频噪声对采集 NV 色心荧光的影响。下列哪些滤光片适用于 NV 色心的荧光检测？（注：低通滤光片指低于指定波长的光高透射，高于该波长的光高反射；高通滤光片正好相反）

A. 800 nm 低通滤光片；

B. 500 nm 高通滤光片；

C. 700 nm 低通滤光片；

D. 600 nm 高通滤光片。

4-4. （4 分）

在图 4-3 所示的实验装置中，选定微波天线的长度和直径分别为 2.5 cm 和 2.5 μm。考虑电流在天线中的趋肤效应和天线本身应有约 50 Ω 的阻抗与微波电路匹配（微波电路的特征阻抗为 50 Ω，如果不匹配，则会形成反射，降低能量传递效率，且会在传输线上形成驻波导致传输线的有效功率容量降低）。根据趋肤深度计算公式：

$$\delta=\sqrt{\frac{2\rho}{2\pi f\mu_0(\chi+1)}}$$

和下表中给出的材料室温参数，假设电流仅在趋肤深度范围内均匀传输，确定哪一种材料最适合做此种微波天线？（趋肤深度计算公式中，f 为微波频率，真空磁导率 $\mu_0=4\pi\times10^{-7}N\cdot A^{-2}$）

材料	铜	金	银	铁
电阻率 $\rho/(\Omega\cdot m)$	1.68×10^{-8}	2.44×10^{-8}	1.59×10^{-8}	1.00×10^{-7}
磁化率(χ)	-5.4×10^{-6}	-2.9×10^{-5}	-2.1×10^{-5}	5×10^{3}

4-5. （4 分）

楞次透镜有四种不同的结构（阴影部分为金属），如本题附图所示，它们对于垂直于透镜平面的交变磁场都有会聚增强效应。解释（a）、（d）两种楞次透镜实现这种增强效应的原因，画出一垂直于纸面的均匀交变磁场经透镜（a）增强后在水平径向上的相对强度分布。如果透镜（a）中的外环直径不变，内环直径缩小一半，同样的微波加载条件下，内环的磁场的幅值变大、变小还是不变？

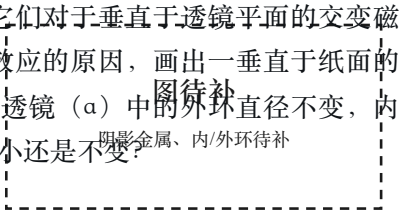


图 4-5 题

4-6. （4 分）

在无外磁场引起能级分裂条件下得到 NV 色心的光探测磁共振谱上只出现一个共振吸收峰，如本题附图所示。参考图 4-2 所示的能级图，关于不同微波频率下的色心发光，以下说法哪些是正确的？



图 4-6 题

A. 微波扫频到 2.70 GHz 时，观察到的荧光强度主要来自基态 M_s=0 电子在泵浦光激发下的辐射跃迁；

B. 微波扫频到 2.87 GHz 附近出现共振吸收峰，说明几乎所有基态 M_s=0 电子被微波激发到 M_s=+1 和 M_s=−1 态；

C. 微波扫频到 2.87 GHz 附近出现共振吸收峰，说明一部分分基态 M_s=0 电子被调控到 M_s=+1 和 M_s=−1 态；

D. 微波扫频到 2.87 GHz 附近出现共振吸收峰，荧光强度减弱的原因是处于基态 M_s=0 的电子被光激发后的辐射跃迁减弱。

4-7. （4 分）

外加磁场引起 M_s=±1 的能级一分为二，光探测磁共振谱上相应呈现成对的共振吸收峰，且峰位间距对磁场强度有着极好的线性响应，故可用 NV 色心来测量磁场大小。本题附图为磁场沿 NV 色心取向有不同强度时的光探测磁共振谱，表格中所给的吸收峰位和磁感应强度数据中空缺了第四列的磁感应强度。利用最小二乘法拟合求吸收峰位间距与磁感应强度大小的比值 $\frac{\Delta v}{B}$，和表格第 4 列中的磁感应强度数值。



图表 4-7 题

从上到下	1	2	3	4	5	6	7
v1(GHz)	2.84	2.82	2.79	2.76	2.73	2.72	2.67
v2(GHz)	2.94	2.95	3.00	3.01	3.05	3.06	3.10
B(mT)	1.78	2.32	3.75	?	5.71	6.08	7.68

4-8. （4 分）

在金刚石中，由于“N-V”缺陷和反向的“V-N”缺陷形成的色心对同一外加磁场具有完全相同的响应，因此，不管金刚石中有多少个 NV 色心，基本的取向最多只有四种。在本题附图中，如果氮原子的位置分别处于标号 1、2、3 和 4 的位置，就代表了四种不同取向的NV色心。在金刚石单胞坐标系(x, y, z)中，这四种色心的方向向量依次记为：$(\frac{1}{\sqrt{3}},-\frac{1}{\sqrt{3}},\frac{1}{\sqrt{3}})$、$(-\frac{1}{\sqrt{3}},\frac{1}{\sqrt{3}},\frac{1}{\sqrt{3}})$、$(\frac{1}{\sqrt{3}},\frac{1}{\sqrt{3}},-\frac{1}{\sqrt{3}})$、$(-\frac{1}{\sqrt{3}},-\frac{1}{\sqrt{3}},-\frac{1}{\sqrt{3}})$。这就导致用包含多个取向 NV 色心的金刚石探测磁场时，会出现多于两个吸收峰的共振谱，具体个数与外加磁场的方向有关。判断下列方向磁场作用引起共振峰的个数：

图待补

标号 1/2/3/4、晶轴待补

图 4-8 题

(A) 磁场方向向量为 (0,0,1) 时，可测到几个共振峰？

(B) 磁场方向向量为 $(\frac{2}{\sqrt{5}},\frac{1}{\sqrt{5}},0)$ 时，可测到几个共振峰？

(C) 磁场方向向量为 $(\frac{2}{3},\frac{1}{3},\frac{2}{3})$ 时，可测到几个共振峰？

(D) 磁场方向向量为 $(\frac{3}{\sqrt{11}},\frac{1}{\sqrt{11}},\frac{1}{\sqrt{11}})$ 时，可测到几个共振峰？

4-9. （4 分）

用三套相同的亥姆霍兹线圈沿 XYZ 三个方向放置，含多种取向色心的金刚石颗粒放置在三套线圈的中心重合位置，金刚石单胞坐标系与 XYZ 重合。已知亥姆霍兹线圈产生的磁场大小与其通电电流成正比且规定逆时针方向电流为正，产生的磁场方向为正向。若要使 NV 色心能产生八个共振峰，三套线圈中的电流大小和方向应满足什么条件？请给出一个能满足此条件的例子。

4-10. （6 分）

采用 4-8 题的色心取向编号和坐标系，请用外磁场在该四种色心取向上的投影 B_1、B_2、B_3 和 B_4 给出外磁场三个分量 B_x、B_y 和 B_z 的表达式。利用 4-9 题亥姆霍兹线圈产生一个满足 $-B_1>B_2>B_3>|B_4|$ 的偏置磁场，施加到 NV 色心系综体系，产生如本题所附图表中谱 1 所示的光探测磁共振谱。请据此给出此偏置磁场大小。当偏置场叠加待测磁场时，测得的光探测磁共振谱如附图中谱 2 所示。谱 1 和谱 2 对应的共振吸收峰频率见本题附表，求待测磁场。

图待补

实测谱线待补

图表 4-10 题

峰位/MHz	ν_1	ν_2	ν_3	ν_4	ν_5	ν_6	ν_7	ν_8
谱 1	2746	2781	2815	2846	2890	2921	2948	2976
谱 2	2744	2779	2818	2849	2888	2919	2950	2978

4-11. （4 分）

本题装置实测共振吸收峰的半高宽大于 5 MHz，扫频精度为 10 kHz。有一通入 5 mA 电流的长直导线，在距其 100 μm 处产生的磁感应强度为多少？如何解决这种弱磁场的测量问题？如何提高该长直导线产生的磁场的测量精度？