

1 顺磁共振

基本概念

g 因子：取决于未偶电子所在分子结构及自旋-轨道相互作用的大小。

线宽：共振吸收线有一定宽度，称为谱线半高宽，简称线宽。线宽可作为弛豫过程快慢的度量。弛豫过程越快，线宽越宽。

思考题

产生顺磁共振的条件是什么？

微波磁场能量子等于相邻两个塞曼能级差，即 $h\nu = g\mu_B B$ ；且低能态粒子数大于高能态粒子数。

什么是扫场法和扫频法？

扫场法：固定微波磁场频率，改变磁场强度。

扫频法：固定微波磁场强度，改变频率。

产生顺磁共振后，微波能量被样品吸收变成了什么形式？

样品内能。

什么是弛豫过程？

自旋磁矩之间在交换能量、自旋磁矩与晶格也会交换能量。这样使处在高能态电子自旋把能量传递出去回到低能态，这个过程称为弛豫过程。弛豫过程使粒子在每个能级上的寿命缩短，由不确定性关系，能级宽度会增加，因此共振吸收会有线宽。

能级在磁场中的 Zeeman 分裂相当于多少电子伏？

$$\Delta E = g\mu_B B$$

如果微波的频率是 9370 MHz，计算产生共振的磁场强度是多少。

$$h\nu = g\mu_B B$$

$$B = 0.334 \text{ T}$$

其他问题

什么是电子顺磁共振？

顺磁物质在恒定磁场作用下对电磁辐射能的共振吸收现象称为磁共振。若原子磁矩计入电子自旋磁矩和电子轨道磁矩，则它产生的磁共振称为电子顺磁共振。

2 PN 结 C-V 特性

基本概念

势垒电容：

$$C_T \equiv \frac{dQ}{dV}$$

单边突变结：一侧掺杂浓度远大于另一侧，导致整个空间电荷区宽度近似等于低浓度掺杂一侧的宽度。

反向偏压越大，势垒电容越小。

问题

PN 结怎样形成

P 型半导体和 N 型半导体的交界面形成 PN 结。

PN 结电容形成的原因

N 型区电子是多数载流子，电子要往 P 型区扩散，N 型区靠近界面处留下带正电的电离杂质中心。同理 P 型区靠近界面处留下带负电的电离杂质中心。这个带正、负电的区域称为空间电荷区。空间电荷区的宽度反比于杂质浓度。**空间电荷区宽度正比于反向偏压的平方根**。当反向偏压有个小变化，空间电荷区宽度发生改变，因此空间电荷区电荷也有变化，这相当于一个电容。

各个实验仪器的名称和用途

仪器调零的步骤和方法

短路校准：把仪器配带的短路片夹于夹具上，按下前面板上的短路按钮，左上方屏显示“5”，再按下触发按钮，仪器自动进行校准。

开路校准：夹具上不放任何物品，处于开路状态，按下前面板上开路按钮，左上方屏显示“0”，再按下触发按钮，仪器自动进行校准。

实验数据图线情况

3 弗兰克-赫兹实验

基本概念

为什么相邻电流峰值对应的电压之差就是第一激发电位？

当 V_{G2K} 较小时，电子能量较小，即使与汞原子发生碰撞，能量也几乎不减少，此时极板电流 I_P 随 V_{G2K} 的增加而增加。当多数电子能与汞原子发生非弹性碰撞传递能量时，给出第一个电流谷。后电压继续增大，多数电子经一非弹性碰撞后又能再进行一次非弹性碰撞，给出第二个电流谷，且对应电压差等于第一激发电位。而相邻两峰电压差应等于相邻两谷电压差。

谷电流为什么不为零

电子有个速度分布。谷电流对应多数电子在发生非弹性碰撞后把能量传递给汞原子，自身无法克服拒斥电压达到极板的情况。但有其他速度的电子不发生非弹性碰撞，可以克服拒斥电压达到极板。

为什么随着 U_{G2K} 增加， I_A 峰值越来越高

电子有个速度分布。 U_{G2K} 越大，初始动能小的电子也能被极板收集。

为什么第一激发电位 11.6V 不等于曲线第一个峰的电压 22V

电子穿过汞蒸气后还要克服拒斥电压才能达到极板。

为什么曲线的峰值是缓慢过渡的，而不是瞬间达到的。

电子有个速度分布。

温度变化对图像的影响

电子数量增加，峰和谷都更高。

弗兰克赫兹实验说明了什么

原子能级的量子化。

4 黑体辐射

基本概念

单色辐出度

物体温度为 T 时单位时间从单位表面发出的 λ 附近单位波长间隔的电磁波能量称为单色辐出度 $M_\lambda(T)$

发射率

物体温度为 T 时，辐射的能流密度 $M(T)$ 与黑体辐出度 $M_b(T)$ 之比称为发射率。

三个定律

斯特藩-玻尔兹曼定律：黑体总辐出度与温度四次方成正比。

$$M_b(T) = \sigma T^4$$

维恩位移定律：温度乘极大值点波长等于常数。

$$\lambda_m T = b$$

普朗克公式：

$$M_\lambda(T) = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp(C_2/\lambda T) - 1}$$

问题

三个定律

光栅的作用

将黑体发出的复合光按波长分离，以便测量其在各个波长处的强度分布，从而获得黑体辐射的能谱（分布曲线）。

每个定律里边的公式里要测什么测得横纵坐标是什么（纵坐标不是能量）

斯特藩-玻尔兹曼定律：测总辐出度 $M_b(T)$ 与 温度 T 关系，看是否满足 $M_b(T) = \sigma T^4$

维恩位移定律：给定温度 T ，测单色辐出度 $M_\lambda(T)$ 与 波长 λ 关系，在曲线上肉眼标定 λ_m 。取不同 T ，看 $\lambda_m T = b$ 是否成立。

普朗克公式：给定温度 T ，测单色辐出度 $M_\lambda(T)$ 与 波长 λ 关系。横坐标波长，纵坐标单色辐出度。

怎么改变温度

改变电流。

单色辐出度

物体温度为 T 时单位时间从单位表面发出的 λ 附近单位波长间隔的电磁波能量称为单色辐出度 $M_\lambda(T)$

5 磁光克尔效应

基本概念

法拉第效应：铁磁体对透射光的偏振状态会产生影响。

克尔效应：铁磁体对反射光的偏振状态会产生影响。

磁光克尔效应：外加磁场会影响铁磁体的磁化强度，从而影响反射光的偏振状态。

克尔旋转角：铁磁性导致反射光的偏振面相对入射光偏振面转过的角度。

克尔椭偏率：铁磁性导致椭偏率的附加变化。

克尔旋转角和克尔椭偏率都是磁化强度的函数。

(表面) 磁光克尔效应

问题

克尔转角？

克尔旋转角：铁磁性导致反射光的偏振面相对入射光偏振面转过的角度。

产生原因？

外加磁场导致铁磁体磁化强度变化，而克尔旋转角又是磁化强度的函数。

光强为什么影响克尔转角

高强度光可能会改变铁磁体磁化强度，从而影响克尔转角。

定标千分尺和角度

角度定标就是要找到角度与螺旋测微头读数的关系（一次函数）。

磁场强度定标

磁场强度定标就是要找到特斯拉计读数和磁铁电流的关系（一次函数）。

手动档，特斯拉计调至“外测”档并调零。使特斯拉计探头位于磁场中央且探测方向与磁场方向一致。调节“电流调节”电位器，记录磁场电流与特斯拉计示数的关系。

思考题

自己测得克尔转角与讲义图的区别？

1) 实验测得磁滞回线光滑性不如讲义上的磁滞回线。这是因为实验信噪比低。

矫顽力是多少

2) 矫顽力是指在磁性材料已经磁化到磁饱和后, 要使其磁化强度减到零所需要的磁场强度。从磁滞回线中可以读出, $B_c = 0.2 \text{ mT}$, 矫顽力为

$$H_c = \frac{B_c}{\mu_0} = \frac{0.2 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7}} \text{ A/m} = 159.15 \text{ A/m}$$

如何确定样品包含磁化强度

3) 饱和磁化强度 M_s 正比于克尔转角最大值 $\theta_{k,\max}$, 因此可以通过饱和磁化强度已知的材料来确定比例系数, 而磁滞回线中可读出样品克尔转角的最大值, 于是可以确定样品的饱和磁化强度。

6 微波参数测量

基本概念

微波: 波长 $1 \text{ mm} \sim 1 \text{ m}$, 频率 $300 \text{ MHz} \sim 300 \text{ GHz}$

TE_{mn} : m 代表电场或磁场在波导宽边方向半周变化的次数; n 代表电场或磁场在波导窄边方向半周变化的次数。

本实验采用矩形波导, 仅能传输 TE_{10} 波。

驻波比 S : 波导中驻波电场最大值与最小值的比。

终端接匹配负载, 微波功率全部被负载系数, 无反射, 波导中行波, $S = 1$;

终端被短路, 形成全反射, 波导中为纯驻波, $S = \infty$

终端为一般性负载, 形成部分反射, “行驻波”, $S \in (1, \infty)$

微波频率测量原理

旋转波长计上的螺旋测微器可改变空腔中活塞位置, 从而改变谐振腔固有频率。当谐振腔固有频率等于微波频率时, 发生共振吸收, 微波功率最小。

波长测量原理

矩形波导中传播的电磁波有临界波长, 小于临界波长的电磁波才能传播。

可利用等电位法测量驻波波长。

功率测量原理

功率计把微波产生的热能转化为电能，并由表头直接读出。

思考题

7 SPR

基本概念

SPR 传感原理

光纤 SPR 传感器的三层结构分别为纤芯、金属层和外部介质层。入射光以一定角度入射至纤芯与金属层界面时，光在此界面发生全反射，一部分能量以倏逝波形式进入金属层。当满足相位匹配条件，即金属表面等离子体波的传播常数等于倏逝波的传播常数时，发生共振，反射光减少，出现共振吸收峰。

SPR 性能评价

灵敏度 $S = \Delta\lambda/\Delta n$ ；品质因数 $FOM = S/FWHM$ ，FWHM 为 SPR 光谱的半峰全宽。

阿贝折射仪测定折射率原理

折射定律：

$$n \sin i = N \sin r$$

全反射：

$$N = n \sin i_c$$

其中 i_c 是入射全反射角。 n 是已知光密介质折射率， N 是待测光疏介质折射率。知道了 n 和 i_c 就能测得待测物质折射率 N 。

当视场被均分成明暗两部分，分界线即为临界角的位置。

思考题

阿贝折射仪检测溶液折射率的原理

当光从高折射率介质（棱镜）射向低折射率液体时，若入射角大于某一临界角，将发生全反射。临界角 i_c 满足

$$N = n \sin i_c,$$

其中 n 为棱镜折射率； N 为待测液体折射率。

阿贝折射仪通过观察视场中明暗交界线的位置，来确定临界角 i_c ，而棱镜折射率 n 已知，则可求得待测液体折射率 N 。

光纤SPR传感器的传感原理

入射光在光纤纤芯中传输并以一定角度入射至纤芯与金属层界面时，光在此界面发生全反射，其中一部分能量以倏逝波的形式进入金属层。当倏逝波与金属表面等离子体波满足相位匹配条件时，二者发生共振。入射光波中满足共振条件的那部分光能量转化为等离子体波共振能量，使反射光减少，出现共振吸收峰。

光纤SPR传感器吸收峰值随折射率变化情况

折射率越大，波长吸收峰值越大。

8 γ 吸收能谱

用的什么源、荧光体是什么、康普顿散射、反散射峰怎么形成、能量多少、为什么、铯发生什么作用

基本概念

光电效应：入射 γ 光子与物质原子中的束缚电子作用， γ 光子把全部能量转移给某个电子，这个电子脱离原子的束缚称为自由电子， γ 光子本身消失。

康普顿效应： γ 光子与原子的最外层电子发生非弹性碰撞，一部分能量转移给电子使其称为反冲电子，另一部分能量成为散射光子 γ' 。根据能、动量守恒，当 γ 光子散射角 $\theta = \pi$ ，反冲电子能量最大，散射光子能量取极小。

电子对效应：当 γ 光子能量大于 $2m_0c^2 = 1.022 \text{ MeV}$ 时，光子在原子核的库仑场作用下可能转化一个正电子和一个负电子；当正电子耗尽动能时，与电子发生正负电子湮灭，同时产生两个能量各为 0.511 MeV 的 γ 光子。

探头：当 γ 射线能量较低，与闪烁体作用，产生光电子和康普顿电子。这些电子与电子使闪烁体内的原子或分子激发，原子或分子退激时放出荧光。荧光经闪烁体外光反射层反射后会聚到光电倍增管的光阴极。光电倍增管把光信号转换为电信号，放大后成为脉冲电信号输出。脉冲电信号的幅度正比于光电子或康普顿电子的能量，也反映了入射 γ 光子的能量。以脉冲电信号幅度（或 γ 射线能量）为水平轴和计数率 N 为竖直轴记录下来的图形称为能谱。它是 γ 射线强度按能量的分布曲线。

全能峰：光电效应和多次效应的贡献。

反散射峰（康普顿平台左边的峰）：入射 γ 光子穿过闪烁体打到光电倍增管上，又发生 π 角度康普顿散射，反散射光子返回闪烁体，发生光电效应被记录。

康普顿平台：康普顿散射的反冲电子形成的一个连续能量的电子谱。

康普顿边缘：180度散射光子对应的反冲电子，在康普顿平台最右边。

特征X射线峰：K 层特征 X 射线贡献。

能量分辨率： $\eta = \Delta V_p / V_p = \Delta E / E$ ， V_p 是全能峰顶两侧半高点间的距离， V_p 是峰高（对应全能峰极大值点的道数或能量）。

铯137 发射 0.662 MeV γ 光子，小于 1.022 MeV ，它与碘化钠晶体只发生光电效应和康普顿效应，不发生电子对效应。

γ 射线穿过物质时强度按指数规律衰减：

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

μ 称为吸收系数。

思考题

测量能谱时测量时间如何选取？

怎样较为精确地确定 γ 谱仪的能量分辨率？

用已知能量的 γ 射线源，在能谱中定位该峰，拟合为高斯分布，测量全能峰极大值点对应道数 x ，全能峰半高宽对应道数差 Δx ，则 $\eta = \Delta x/x$

反射峰是怎样形成的？如何从实验中减少反射峰的计数？

反散射峰：入射 γ 光子穿过闪烁体打到光电倍增管上，又发生 π 角度康普顿散射，反散射光子返回闪烁体，发生光电效应被记录。

采用不易发生康普顿散射的光电倍增管。

实验中测量不同材料的 γ 能谱时，光电倍增管的工作电压和线性放大器的倍数是否应改变？为什么？

保持高压和放大器倍率不变。不然要重新定标（能量与道数关系）。

若有一种 γ 射线源发射单一能量为 2 MeV 的 γ 射线，试预言其能谱。

多一个电子对效应导致的峰。