

物理所面试问题准备

1. 固体中的能带是怎样形成的？

孤立原子的外层电子可能取的能量状态（能级）完全相同，但当原子彼此靠近时，外层电子就不再仅受原来所属原子的作用，还要受到其他原子的作用，这使电子的能量发生微小变化。原子结合成晶体时，原子最外层的价电子受束缚最弱，它同时受到原来所属原子和其他原子的共同作用，已很难区分究竟属于哪个原子，实际上是被晶体中所有原子所共有，称为共有化。原子间距减小时，孤立原子的每个能级将演化成由密集能级组成的准连续能带。共有化程度越高的电子，其相应能带也越宽。孤立原子的每个能级都有一个能带与之相应，所有这些能带称为允许带。相邻两允许带间的空隙代表晶体所不能占有的能量状态，称为禁带。若晶体由 N 个原子（或原胞）组成，则每个能带包括 N 个能级，其中每个能级可被两个自旋相反的电子所占有，故每个能带最多可容纳 $2N$ 个电子（见泡利不相容原理）。价电子所填充的能带称为价带。比价带中所有量子态均被电子占满，则称为满带。满带中的电子不能参与宏观导电过程。无任何电子占据的能带称为空带。未被电子占满的能带称为未满带。例如一价金属有一个价电子， N 个原子构成晶体时，价带中的 $2N$ 个量子态只有一半被占据，另一半空着。未满带中的电子能参与导电过程，故称为导带。

2. 比热反映了什么，它的微观本质是什么？

比热容是单位质量的某种物质升高单位温度所需的热量。

在不同的温度下，物质的比热容都会有所不同，主要是因为分子的压力有所不同。根据分子运动论，当温度增加，分子震动得较快；当温度减少，分子则震动得较慢。此原理亦可指，在不同的压力和相态下，物质的比热容亦有不同。

以温差为例，假如在夏天较热的天气下煮水，会比冬天较冷的天气下更快沸腾，因为温度较高。

以压强为例，在地球水平线上，大气压强为 101.325 千帕斯卡，假如在这里煮水，水将于 100 摄氏度沸腾。但在海拔约 8.8 公里的珠穆朗玛峰上，大气压强只有若 3.2 千帕斯卡，假如在这里煮水，水将于 69 摄氏度沸腾。

以相态为例，液态水的比热容是 4200，而冰（水的固态）的比热容则是 2060。

固体的比热容随温度升高而增加，在低温时增加较快，在高温时增加较慢。

3. 固体物理中的三种量子统计？

描述古典系统用：麦克斯韦-玻尔兹曼统计

$$\bar{n} = \frac{1}{e^{(\epsilon - \mu)/kT}}$$

描述含费米子的量子系统用：费米-狄拉克统计

$$\bar{n} = \frac{1}{e^{(\epsilon - \mu)/kT} + 1}$$

描述含玻色子的量子系统用：玻色-爱因斯坦统计

$$\bar{n} = \frac{1}{e^{(\epsilon - \mu)/kT} - 1}$$

这三种统计的不同之处在于：

在古典物理中，粒子被视为能被区分出来的不同个体。

在量子物理中，两个费米子不能处于同一个物理态。

在量子物理中，要区分玻色子只能从不同的物理态入手，位处同一态的玻色子没有分别。因此，在物理态一的光子甲及在物理态二的光子乙，跟态一的光子甲及在态二的光子乙没有分别。但在古典

物理中它们会是两个不同的系统，而在量子物理只算作一个。故玻色子表现得像它们都喜欢在同一状态似的。

玻色子（英语：**boson**）是依随玻色-爱因斯坦统计，自旋为整数的粒子。玻色子不遵守泡利不相容原理，在低温时可以发生玻色-爱因斯坦凝聚。具有自旋量子数为整数的基本粒子。不遵守泡利不相容原理，即一个量子态可以被任意多个粒子所占据。

自旋为半整数（ $1/2, 3/2, \dots$ ）的粒子统称为费米子，服从费米-狄拉克统计。费米子满足泡利不相容原理，即不能两个以上的费米子出现在相同的量子态中。轻子，核子和超子的自旋都是 $1/2$ ，因而都是费米子。自旋为 $3/2, 5/2, 7/2$ 等的共振粒子也是费米子。根据标准理论，其他有质量的非基本粒子，都有费米组成，例如中子、质子都是由三种夸克组成，自旋为 $1/2$ 。奇数个核子组成的原子核。因为中子、质子都是费米子，故奇数个核子组成的原子核自旋是半整数。

4. 电子单缝实验及其物理内涵？

电子单缝衍射实验的发现证实了 L.V.德布罗意提出的电子具有波动性的设想，构成了量子力学的实验基础。电子衍射实验由戴维孙和革末首先完成。实验结果表明：

(1) 散射电子束在某些方向上特别强；这种现象类似于 x 射线被单晶衍射的情形，从而显示了电子束的波动特性。

(2) 在某一角度 θ 下改变加速电压 U 以实现电子波长的改变。实验测出的曲线反映出确实存在着电子的布喇格衍射，从而定量地证实了德布罗意所预言的实物粒子的波动性果真存在。

5. 什么是库珀对

根据超导理论，超导体中自旋电子配对形成“库珀对”是超导性的来源。所谓“库珀对”，是指美国科学家库珀发现，在晶体中众多可以自由运动的电子，总会有一些因适当的晶格形变而在一起，形成相对稳定的一对电子。

库珀对是施里弗与巴丁，库珀提出的关于量子物理的理论。在低温超导体中，电子并不是单个地进行运动，而是以弱耦合形式形成配对，一般称之为库珀对。形成库珀对的两个电子，一个自旋向上，另一个自旋向下。

金属中的两个电子之间存在着通过交换声子而发生的吸引作用。由于这种吸引作用，费密面附近的电子两两结合形成所谓的“库珀对”。“库珀对”的形成使电子气的能量下降到低于正常费密分布时的能量，使得在连续的能带态以下出现一个单独的能级。这个单独能级与连续能级之间的间隔就叫做超导体的能隙。而今，库珀对理论被用于超导和解释 BCS 理论中，起着巨大的作用通过电子声子电子相互作用，费米面附近两个动量 C 相反自旋相反的电子所形成的电子对。最初由 L N C o p e r 在 1956 年提出，用来解释超导现象。以后在此基 F 础上建立了 B C S 理论。根据 B C S 理论，超导体内电子系统的基态是由库珀对凝聚而成。库珀对的能可表示成 $E = 2 \hbar \omega_D (\exp (- 1 g (0) V) - 1)$ ，这里 ω_D 是声子的德拜频率， $g (0)$ 是正常态电子在费米面附近的状态密度， V 是电子与声子间的相互作用系数。库珀对在晶体内受声子散射时，它的总动量保持不变，因此当库珀对在外场作用下获得附加动量后，即使去掉外电场，这些附加动量也不会因声子散射而衰减，这样由这些附加动量引起的电流也不会衰减，因而获得超导电流。由于库珀对的总自旋为零，所以它具有玻色子的许多特性。更进一步的理论表明：当计入多体效应后，两个电子间不再能形成稳定的态，但是它们的运动仍然是相互关联着的，我们仍然能把一对对互相关联着运动的电子叫做库珀对。

6. MAXWELL 方程组及其各项的物理意义？

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = q \\ \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \\ \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \iint \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \\ \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I + \iint \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \end{array} \right.$$

第一项：电荷是电场的源，高斯定理；

第二项：变化的磁场产生电场，电磁感性；

第三项：磁场是无源场；

第四项：传导电流和变化的电场产生磁场，使用的是电荷守恒原理。

7. 含时薛定谔方程 哪个波函数的解释？

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \Psi(x, t) + V(x) \Psi(x, t) = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(x, t);$$

自由粒子的平面波

8. 现在介观物理研究的尺寸范围是多少？

介观尺度就是指介于宏观和微观之间的尺度；一般认为它的尺度在纳米和毫米之间。

9. 半导体，导体，绝缘体的区别？

在低温下，本征半导体的能带与绝缘体的能带结构相同。但本征半导体的禁带较窄，禁带宽度通常在 2 个电子伏特以下。由于禁带窄，本征半导体禁带下满带顶的电子可以借助热激发，跃迁到禁带上面空带的底部，使得满带不满，空带不空，二者都对导电有贡献。

导体具有未被填满的导带，在电场作用下电子有宏观位移，形成电流。

10. 请在黑板上画出六角格子的费米面。

其第一布里渊区是一个六棱柱，在这个空间里面就可以画出费米面了。

11. 一维，二维，三维的电子态密度随能量是个什么变化关系？0 维呢？

金属自由电子 $E \rightarrow k$ 关系为 $E(k) = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$ ，一维 $E \rightarrow k$ 是抛物线，二维等能线是圆，而三维等能面则是球。

一维情况

$E \rightarrow E + dE$ 电子数目相应于一维 k 轴在 $\pm k$ 方向 ($2dk$) 范围内的状态如下图，计入电子自旋，一维金属长度为 L ， $g(E)dE = 2 \times \frac{L}{2\pi} \cdot 2dk$

由自由电子色散关系， $dk = \frac{m}{\hbar} \times (2mE)^{-\frac{1}{2}} dE$

代入得 $g(E) = \frac{2L}{2\pi} \frac{2m}{\hbar} \times (2mE)^{-\frac{1}{2}} = \frac{L}{\pi} \left(\frac{2m}{\hbar^2}\right)^{\frac{1}{2}} E^{-\frac{1}{2}} \propto E^{-\frac{1}{2}}$

二维情况

$E \rightarrow E + dE$ 电子数目相应于如图 1.1.55 二维 k 平面上半径 k ，宽度为 dk 的圆环内的状态数目，设二维金属面积为 S ， $g(E)dE = 2 \cdot \frac{S}{(2\pi)^2} \cdot 2\pi k \cdot dk$

由自由电子色散关系 $dE = \frac{\hbar^2}{2m} \cdot 2k dk = \frac{\hbar^2}{2\pi m} \cdot 2\pi k dk$

$$\text{代入得 } g(E) = \frac{2S}{(2\pi)^2} \cdot \frac{2m\pi}{h^2} = \frac{Sm}{\pi h^2} =$$

三维情况

$E \rightarrow E + dE$ 电子数目相应于如图 1.1.56 三维 k 平面上半径 k , 宽度为 dk 的球壳内的状态数目, 考虑电子自旋, 对体积为 V 三维金属 $g(E)dE = 2 \cdot \frac{V}{(2\pi)^3} \cdot 4\pi k^2 \cdot dk$

$$\text{由色散关系, } dk = \frac{m}{h} \times (2mE)^{-\frac{1}{2}} dE$$

与色散关系一起代入上式

$$g(E)dE = 2 \cdot \frac{V}{(2\pi)^3} \cdot 4\pi \cdot \frac{2mE}{h^2} \cdot \frac{m}{h} (2mE)^{-\frac{1}{2}} = \frac{V}{2\pi^2} \cdot \left(\frac{2m}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} E^{\frac{1}{2}} \propto E^{\frac{1}{2}}$$

12. 大致说明一下晶体中电阻率随温度的变化关系。剩余电阻率都来自哪?

剩于电阻率是指在 4.2K 下金属导体的电阻率。

13. 什么是德哈斯-范阿尔芬效应?

低温下强磁场中金属的磁化率随着磁场的倒数周期性振荡的现象。热导率和比热等物理量也有类似的震荡现象。这些现象同金属费米面附近电子在强磁场中的行为有关, 因为同金属费米面结构有密切的关系, 这些效应已经成为研究费米面的有力工具。

14. 什么是声子? 什么是德拜温度? 格林-埃森常数代表什么物理意义?

声子: 晶格振动的能量量子。其行为像一个粒子, 所以是一种准粒子。

德拜温度: 固体比热理论中的一个参量, 确定了由固体原子振动所形成的弹性波可达到的最高固有频率, 因美籍荷兰物理学家德拜而得名。不同固体的德拜温度不同。当温度远高于德拜温度时, 固体的摩尔比热容遵循经典规律, 即符合杜隆-珀替定律, 是一个与构成固体的物质无关的常量。反之, 当温度远低于德拜温度时, 摩尔比热容将遵循量子规律, 而与热力学温度的三次方成正比, 随着温度接近绝对零度而迅速趋近于零。

$$-\frac{d \ln \omega_i}{d \ln V} = \gamma,$$

γ 是与晶格的非线性振动有关与 ω_i 无关的常数, 称 γ 为格林-艾森常数。 γ 可用作检验非简谐效应的尺度。实验测定, 对大多数晶体, γ 值一般在 1~3 范围内。 $\gamma=0$, 无热膨胀现象。

$$P = -\left(\frac{dU}{dV}\right)_T + \gamma \frac{\bar{E}}{V},$$

晶体的状态方程(格林-艾森方程)

以石英为例, 热膨胀系数 α_V 与格林-艾森常数 γ 成正比。 石英晶体的热膨胀系数很小, 它的格林-艾森常数也很小。 格林-艾森常数 γ 大小可作为晶格非简谐效应大小的尺度。 石英晶体的格林-艾森常数很小, 说明它的非简谐效应很小。

15. 较详细的介绍下你做过的一个近代物理实验?

超导磁悬浮力测量

实验目的

- 1、定性观察超导磁悬浮现象
- 2、测量超导磁悬浮力与距离的关系
- 3、了解传感器测力的原理及使用方法

实验装置

实验装置包括主件和电源及显示系统两部分。主件包括磁铁、样品架、位移调节盘、液氮槽、传感器等部分。

实验原理

1、零电阻现象

当把某种合金或金属冷却到某一特定温度 T_c 时，其直流电阻突然变为零，把这种在低温下发生的零电阻现象称为物体的超导电性，具有超导电性的材料称为超导体。电阻突然消失的某一确定温度 T_c 称为临界温度。

超导体的零电阻特性在实验上是很难观察的，一个最好的方法是超导环中持续电流实验。它是将一超导环先置于磁场中，然后冷却使之转变为超导体，然后撤去外场，这时在超导态的环中感生出一电流

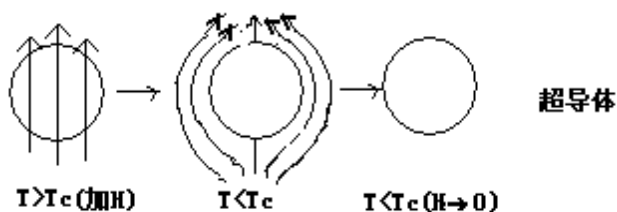
$$i(t) = i(0) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (1)$$

其中 $\tau = L/R$ 是电流衰减时间常数， L 是环的自感， R 为电阻。对于正常电阻 τ 很小，环内的电流很快衰减为零；对于超导环则情况不同，电流衰减非常慢。

2、完全抗磁性

当把超导体置于外加磁场时，磁通不能穿透超导体，而使体内的磁感应强度始终保持为零 ($B \equiv 0$)，超导体的这个特性有称为迈斯纳 (Meissner) 效应。

完全抗磁性 (见图 1) 是独立于零电阻特性的另一个基本属性。超导体的完全抗磁性是由于表面屏蔽电流 (也称迈纳斯电流) 产生的磁通密度在导体内部完全抵消引起的磁通密度，使其净磁通它的状态是唯一确定的。从超常态的转变是可逆的。



图一 超导体的完全抗磁性

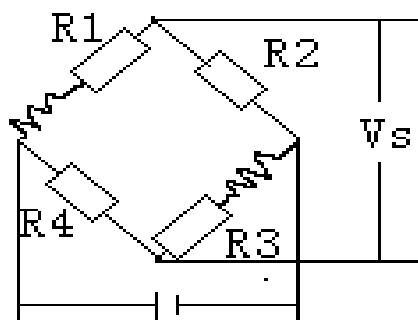
迈纳斯效应可以通过磁直观演示：当一个小的永久磁体放到超导体表面附近时，由于永久通线不能进入超导体，在超导体之间存在的斥力可以克服磁体的重力，而使小磁体悬浮在超导表面一定的高度。但高温超导体样品特征决定了它们具有非完全抗磁性。迈纳斯效应是个直流效应，用磁悬浮实验可直观形象描述超导体的这种抗磁特性，因此磁悬浮是个很好的演示实验，但它较难给出定量结果。为了知道一个样品是否具有抗磁性需要测量该样品的磁化强度 M (或磁化率 χ) 随温度的变化关系。测量方法很多，有磁称法、振动样品磁强计及 SQUID 磁强计等，这些都是测量直流磁化率 χ_{DC} 的方法，他们要求高，装置复杂。

排斥力的大小与样品的磁化强度及磁场梯度有关 $F = \frac{M \Delta B}{\Delta X}$

实验上斥力 F 的大小可测量，并可用压力传感器把它变成电信号。

3、仪器工作原理

斥力的大小可用压力传感器把它变成电小与两者之间的距离有关，距离可用百分表测定磁悬浮力了。传感器是一个电桥电路，来的力的作用，电桥某一臂电阻发生变化，平衡，有电压信号输出，输出的大小与力的见图 2。



信号，力的大测，这样就可受传感杆传使电桥失去大小成比例。

图 2 传感器电桥

实验内容

一、测量超导磁悬浮力

磁悬浮装置示意图见图 3。

1、实验测量前的工作

(1) 首先按说明书所述装好样品,然后把传感压线接到仪器的电源插座,传感器的电源输出(V_s)的信号输入插座,调节工作电压 $V=5.0$ 伏。无受 V_s 应为零,但因为已有连接棒等负载,其输出并用仪器调零电位器把它调到零。

(2) 戴好清洁手套取出超导样品,用酒精清洁装在样品架上并固定在盛液氮的胶木杯内,再把接棒下端的磁铁(强度 4500Gs 左右)下面(安装面要保持平放状态,并且固定好,以免实验过程旋紧螺丝时不要过分用力,但不要过分紧张以免坏。)。调节磁铁与样品的距离,使之在最大距离最大指示刻线处(端线刻度 30mm 或 0mm,百分动),及最小距离时(样品表面与磁铁表面即将接为百分表的最小指示刻线处(0mm 或 30mm 处),端点,并记住这两个点。下面的测量应在这个范围

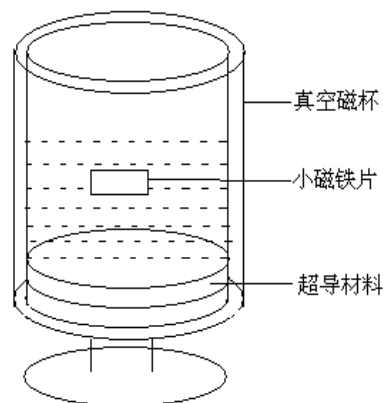


图 3 磁悬浮装置示意图

器的工作电线接到仪器力的情况下不为零,利

其表面后,它置放在连样品时样品中样品脱落。把样品弄时百分表为表外壳可转触但未接触)即刻度的两围内,硬超

出这两个范围,将会使百分表的精度受损害,特别是超出零点时,测量到的不是真数值。

如何判断已达到最小距离?只要调节到 V_s 零值不变的最下距离即是,因为样品表面与磁铁表面相碰时 V_s 值明显变化,并且接触时蜂鸣器会响(由于样品很脆,为了避免损坏样品,在实际过程中,我们使用和样品同厚度的模拟样品来进行调节)。

2、测量

(1) 观察室温条件下磁铁与超导材料间相互作用情况

缓慢改变磁铁与样品的距离,从最大(30 mm)到最小,并观察 V_s 数值有否变化。

(2) 测量超导体排斥磁力的大小

调节磁铁与样品的距离为 30mm,向样品倒入液氮,起初挥发较快,再倒入液氮,直到液面稳定,此时超导样品已处于超导态了。然后缓慢的减小距离,每隔 1mm(大指针转一圈)测一次,一直到原来定的最小距离为止(注意样品表面与磁铁表面不能碰到,否则会产生机械斥力损坏样品)。本样品排斥力范围: 0~15MV 左右。然后把距离从最小到最大变化,同样每隔 1mm 测一次 V_s 。两次数据不重复(在实际测量过程中,为了不损坏样品,我们待测的最小距离不是 0mm,而通常是 2—3mm,这样就可以避免由于样品未装平或调节零距离不精确而造成样品和磁铁片相接触,造成样品的损坏)。

如果感到实验数据不满意,需重新测量,一定要吹干样品从头来,否则数据不重复。

(3) 测量常规磁铁排斥力的大小

让液氮挥发干,取出样品,并用热风吹干,把样品放在干燥缸内。

用磁铁片(强度大约 2000Gs)代替样品,按上述方法测量在室温条件下从最大距离(30mm)到最小距离缓慢变化过程中 V_s 的变化,同样每隔 1mm 测一次 V_s ,接着测距离从小向大方向变化的 V_s 值并与超导体样品的结果比较。

安装磁铁片时应注意:

① 因为我们的目的是测量排斥力,所以两磁铁应同极(如 N 极)相对,不要用磁铁片的 S 极与磁铁的 N 极相对进行测量,否则,由于磁铁的吸引力很强,当操作不慎时,两磁铁会快速吸引而碰伤手(不要用手直接拿着磁铁片去试引力还是斥力,因为两磁铁的作用力很大,不小心就会伤到手,我们可以把磁铁片放在手里,握紧后在进行测试)。

② 同时不要在两磁铁靠近的空间处安装磁铁片,以防两磁铁相吸。

③ 安装磁铁片时请注意个人的防磁用品不要靠近磁铁片。

二、进行定标实验

传感器输出的电压信号与受力的大小有关，为计算方便需要测量出传感器输出电压信号与力的大小的关系。方法是：

① 拆去样品使传感器空载，距离调到最大（30mm），再次对 V_S 调零。

② 把位移杆移到中间位置，卸下百分表。

③ 工作电源与步骤 2 中的实验时相同，不能改变。

④ 依次按大小，分别用 100g、200g、300g、400g、500g、600g、700g、800g、900g、1000g 砝码吸在磁铁上，并记下砝码重量（ W ）和 V_S 的数值，作图求出相关系数。注意：取下砝码时先固定好传感器杆，并且不要横向剥拉砝码，以免把传感器的内应片弄坏。本实验对斥力定位为正值，现是引力， V_S 为负值了，所以，可取绝对值进行作图。记录传感器各对应的输出电压，并作校正曲线。

校正曲线的斜率即为转换系数 K （N/mV）。求出 K 后即可将传感器输出电压转换为力的大小。

做出超导样品磁悬浮力与距离的曲线。

做出两磁铁间排斥磁力与距离的曲线。

注意事项

1、实验过程中，液氮会连续挥发，而且盛装液氮的盒子较小，又开口处于大气中、挥发较快，所以应及时补加，并注意保持样品处于超导态（此时样品不能露出液氮表面）。

2、灌液氮时应小心，以免液氮溅出到手脚上冻伤皮肤。

3、为操作方便起见，可把液氮从杜瓦瓶（或热水瓶）内先倒入小的保暖杯内，再从保暖杯倒入样品盒内，并且要注意不要让保暖杯与磁铁片相吸，否则液氮会溅出，冻伤皮肤。

4、转动距离旋柄时应缓慢进行。

5、注意百分表位置固定后，实验过程中别再做移动。

6、样品安装要放平，磁铁片不能与样品相接触，以免损坏样品。

16. 经典物理中散射截面的定义？

描述微观粒子散射概率的一种物理量。又称碰撞截面，简称截面。一种运动中的粒子碰撞另一种静止粒子时，如果在单位时间内通过垂直于运动方向单位面积上的运动粒子数为 1，静止粒子数也是 1，则单位时间发生碰撞的概率称为碰撞截面，截面的量纲与面积的量纲相同，单位是靶恩，1 靶恩 = 10^{-28} 米²，可见与核反应截面的含义相同。如果碰撞为弹性散射，相应的截面称为弹性截面，如果碰撞为非弹性散射，相应的截面称为非弹性截面。根据粒子散射截面的分析可获得许多有关粒子的信息。

17. 电子有加速度时是否一定辐射电磁波？啥叫电四极矩？

通过解电子电磁场的势函数，在利用势函数求解电场和磁场，发现除去式中的第一项后（第一项代表静电分量，不辐射），其他各项都是辐射项，且都和速度对时间的导数有关，即加速度有关。加速度为零，则辐射为零。其中最主要的是偶极辐射项，他与加速度成正比，能量与加速度的平方成正比。直线加减速，叫轫致辐射，曲线的叫，同步辐射。

$$Q_j = \int_V 3x'_i x'_j \rho(\vec{x}') dV' \quad \text{或} \quad \vec{\vec{Q}}_j = \int_V 3\vec{x} \vec{x} \rho(\vec{x}') dV' \quad \text{为体系的总电四极矩。}$$

定义

电四极矩具有以下特点：

（1）电四极矩是一个对称张量。

（2）电四极矩只有五个分量是独立分量。

（3）具有球对称分布的电荷体系的电四极矩为零。反之，若电荷分布偏离球对称性，一般就会出现电四极矩。电四极矩的出现标志着对球对称的偏离，因此我们测量远场的四极势项，就可以对电荷分布形状作出一定的推论。

（4）一般情况下，电四极矩与原点选取有关。任何电荷分布的最低阶非零的电多极矩才与原点的选择无关，而更高阶的电多极矩有赖于原点的位置。

18.什么是塞曼效应？介绍下斯特恩—盖拉赫干涉仪？

塞曼效应，英文：Zeeman effect,是 1896 年由荷兰物理学家塞曼发现的。

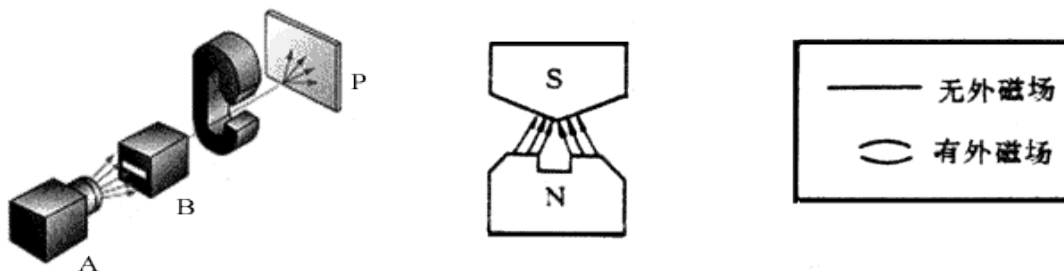
他发现，原子光谱线在外磁场发生了分裂。随后洛仑兹在理论上解释了谱线分裂成 3 条的原因。这种现象称为“塞曼效应”。进一步的研究发现，很多原子的光谱在磁场中的分裂情况非常复杂，称为反常塞曼效应。完整解释塞曼效应需要用到量子力学，电子的轨道磁矩和自旋磁矩耦合形成总磁矩，并且空间取向是量子化的，磁场作用下的附加能量不同，引起能级分裂。在外磁场中，总自旋为零的原子表现出正常塞曼效应，总自旋不为零的原子表现出反常塞曼效应。塞曼效应是继 1845 年法拉第效应和 1875 年克尔效应之后发现的第三个磁场对光有影响的实例。塞曼效应证实了原子磁矩的空间量子化，为研究原子结构提供了重要途径，被认为是 19 世纪末 20 世纪初物理学最重要的发现之一。利用塞曼效应可以测量电子的荷质比。在天体物理中，塞曼效应可以用来测量天体的磁场。

法拉第效应也称磁致旋光。在处于磁场中的均匀各向同性媒质内，线偏振光束沿磁场方向传播时，振动面发生旋转的现象。1845 年 M.法拉第发现在强磁场中的玻璃产生这种效应，以后发现其他非旋光的固、液、气态物质都有这种效应。

克尔效应指与电场二次方成正比的电感应双折射现象。放在电场中的物质，由于其分子受到电力的作用而发生取向（偏转），呈现各向异性，结果产生双折射，即沿两个不同方向物质对光的折射能力有所不同。

斯特恩和盖拉赫使一束银原子通过非均匀的磁场，发现银原子分裂为两束。磁矩在非均匀磁场中的受力：

说明磁矩有两种取值，当时人们并没有自旋的概念，根据轨道角动量的理论，轨道角动量 (L) 的取值只能是整数，如：0, 1, 2..., 的取值则有 $2L+1$ 种可能性，即由 $-L, -L+1, \dots, L-1, L$ 。因此轨道角动量概念只能解释奇数条条纹分裂，而无法解释偶数条条纹分裂。解决方案是引入电子自旋(s)，自旋取值为 $1/2$ ，取值为 $-1/2, 1/2$ 。



19.什么是量子纠缠？大概介绍下 EPR 佯谬和薛定谔猫实验。

量子纠缠：具有量子纠缠现象的成员系统们，在此拿两颗以相反方向、同样速率等速运动之电子为例，即使一颗行至太阳边，一颗行至冥王星，如此遥远的距离下，它们仍保有特别的关联性（correlation）；亦即当其中一颗被操作（例如量子测量）而状态发生变化，另一颗也会即刻发生相应的状态变化。如此现象导致了“鬼魅似的远距作用”（spooky action-at-a-distance）之猜疑，仿佛两颗电子拥有超光速的秘密通信一般，似与狭义相对论中所谓的局域性（locality）相违背。这也是当初阿尔伯特·爱因斯坦与同僚玻理斯·波多斯基、纳森·罗森于 1935 年提出以其姓氏字首为名的爱波罗悖论（EPR paradox）来质疑量子力学完备性之缘由。

薛定谔的猫实验：把一只猫放进一个不透明的盒子里，然后把这个盒子连接到一个包含一个放射性原子核和一个装有有毒气体的容器的实验装置。设想这个放射性原子核在一个小时内有 50% 的可能性发生衰变。如果发生衰变，它将会发射出一个粒子，而发射出的这个粒子将会触发这个实验装置，打开装有毒气的容器，从而杀死这只猫。根据量子力学，未进行观察时，这个原子核处于已衰变和未衰变的叠加态，但是，如果在一个小时后把盒子打开，实验者只能看到“衰变的原子核和死猫”或者“未衰变的原子核和活猫”两种情况。

13.介绍下你对自旋的认识。自旋谁发现的，怎样发现的？

自旋（英语：Spin）是粒子所具有的内在性质，其运算规则类似于经典力学的角动量，并因此产生一个磁场。虽然有时会与经典力学中的自转（例如行星公转时同时进行的自转）相类比，但实际上本质是迥异的。经典概念中的自转，是物体对于其质心的旋转，比如地球每日的自转是顺着一个通过

地心的极轴所作的转动。

首先对基本粒子提出自转与相应角动量概念的是 1925 年由 Ralph Kronig、George Uhlenbeck 与 Samuel Goudsmit 三人所开创。他们在处理电子的磁场理论时，把电子想象一个带电的球体，自转因而产生磁场。然而尔后在量子力学中，透过理论以及实验验证发现基本粒子可视为是不可分割的点粒子，是故物体自转无法直接套用到自旋角动量上来，因此仅能将自旋视为一种内在性质，为粒子与生俱来带有的一种角动量，并且其量值是量子化的，无法被改变（但自旋角动量的指向可以透过操作来改变）。

自旋对原子尺度的系统格外重要，诸如单一原子、质子、电子甚至是光子，都带有正半奇数（ $1/2$ 、 $3/2$ 等等）或含零正整数（ 0 、 1 、 2 ）的自旋；半整数自旋的粒子被称为费米子（如电子），整数的则称为玻色子（如光子）。复合粒子也带有自旋，其由组成粒子（可能是基本粒子）之自旋透过加法所得；例如质子的自旋可以从夸克自旋得到。

14. 介绍下你对狭义相对论的认识。说说狭义相对论的基本原理。写出洛伦兹变换的表达式。

基本原理：第一条就是相对性原理，第二条是光速不变性

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad y' = y \quad z' = z \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

15. 什么是能带结构，什么是 Bloch 波，什么是布里渊区。

在固体物理学中，固体的能带结构（又称电子能带结构）描述了禁止或允许电子所带有的能量，这是周期性晶格中的量子动力学电子波衍射引起的。

能带理论是研究固体中电子运动规律的一种近似理论。固体由原子组成，原子又包括原子实和最外层电子，它们均处于不断的运动状态。为使问题简化，首先假定固体中的原子实固定不动，并按一定规律作周期性排列，然后进一步认为每个电子都是在固定的原子实周期势场及其他电子的平均势场中运动，这就把整个问题简化成单电子问题。能带理论就属这种单电子近似理论，它首先由 F. 布洛赫和 L.-N. 布里渊在解决金属的导电性问题时提出。能带理论一共使用了两个近似和一个假设：绝热近似、平均场近似（单电子近似）、周期势场假设。

绝热近似：由于电子质量远小于离子质量，电子的运动速度就比离子要大很多，故相对于电子，可认为离子不动。

平均场近似：在多电子系统中，可把多电子中的每一个电子，看作是在离子场及其他电子产生的平均场中运动的考虑。

周期场近似：假定所有离子产生的势场和其他电子的平均势场是周期势场，其周期为晶格所具有的周期。

***近自由电子近似**：由于周期场周围的周期性起伏很弱，它可以看成自由电子情况稳定势场的微扰，此时晶体中的价电子行为就很接近自由电子，故叫近自由电子近似。

***紧束缚近似**：如果电子受原子核束缚较强，且原子之间的相互作用因原子间距较大等原因而较弱，此时，晶体中的电子就不像弱束缚情况的近自由电子，而更接近束缚在各孤立原子附近的电子，称为紧束缚近似。

布洛赫波：在点阵周期势场中运动的电子波函数是布洛赫波即： $\psi_k(r) = e^{ik \cdot r} u_k(r)$

式中函数 $u_k(r)$ 具有晶格平移对称性： $u_k(r) = u_k(r + R)$

式中 R 是晶格格矢，这是受晶格周期势场调制的平面波，此即布洛赫定理，布洛赫波的指数部分是平面波，描述了晶体中电子的共有化运动，而周期函数则描述了晶体中电子围绕原子核的运动，因而布洛赫波正是反映晶体中电子运动的特点。

布里渊区：在固体物理学中，第一布里渊区是动量空间中晶体倒易点阵的原胞。固体的能带理论中，各种电子态按照它们波矢的分类。在波矢空间中取某一倒易阵点为原点，作所有倒易点阵矢量的垂直平分面，这些面将波矢空间划分为一系列的区域：其中最靠近原点的一组面所围的闭合区称为第一布里渊区；各布里渊区体积相等，都等于倒易点阵的元胞体积。周期结构中的一切波在布里渊区界面上产生布拉格反射，对于电子德布罗意波，这一反射可能使电子能量在布里渊区界面上（即倒易点阵矢量的中垂面）产生不连续变化。根据这一特点，1930 年 L.-N. 布里渊首先提出用倒易点阵矢量的中垂面来

划分波矢空间的区域，从此被称为布里渊区。

另一种高级点的解释：在固体物理中，各种波的衍射条件是由布里渊区决定的。它是电子能带理论和表示晶体元激发的唯一的构图形式。布里渊区的定义为：作由倒格子原点出发的所有倒格矢 $\mathbf{K}_h = h_1\mathbf{b}_1 + h_2\mathbf{b}_2 + h_3\mathbf{b}_3$ 的垂直平分面，称为布拉格面。为这些平面所完全封闭的包含倒格子原点最小空间就是第一布里渊区。第一布里渊区实际上是倒格子空间的维格纳-赛茨原胞。第二布里渊区是从第一布里渊区出发只穿过一个布拉格面就可以到达的点的集合；第 n 个布里渊区是从第 $n-1$ 个布里渊区出发只穿过一个布拉格面就可以到达的点的集合，第 n 个布里渊区也可以定义为从倒格子原点出发，穿过 $n-1$ 个布拉格面能到达的点的集合。显然，所有布拉格面都是布里渊区边界面。

16.什么是霍尔效应？类比电荷霍尔效应，自旋霍尔效应应该怎么定义？

霍尔效应：固体材料中的载流子在外加磁场中运动时，因为受到洛伦兹力的作用而使轨迹发生偏移，并在材料两侧产生电荷积累，形成垂直于电流方向的电场，最终使载流子受到的洛伦兹力与电场斥力相平衡，从而在两侧建立起一个稳定的电势差即霍尔电压。正交电场和电流强度与磁场强度的乘积之比就是霍尔系数。平行电场和电流强度之比就是电阻率。大量的研究揭示：参加材料导电过程的不仅有带负电的电子，还有带正电的空穴。

自旋霍尔效应是一个新型的霍尔效应，是目前凝聚态领域中一个相当热门的研究方向，由于相对论效应自旋轨道耦合作用的存在，人们在理论上和实验上都发现在不外加磁场条件下即使是在非磁性材料中，也可观测到内秉自旋霍尔现象，利用这种效应可产生自旋流，这种自旋流在自旋电子学领域将有着广泛的应用。因此研究自旋霍尔效应不仅促进量子理论的发展(事实上关于内秉自旋霍尔机制的量子理论仍在发展之中)；同时也必将推动新的技术进步，比如可利用它的原理设计新型自旋电子学器件。最近一些年，理论家预言，拥有正常电子结构的材料可以与电场发生作用并最终出现量子自旋霍尔效应，也就是说，我们可以获得一种旋转驱动版且几乎没有能量损失的导电性。值得一提的是，这种材料无需满足强磁场和低温这两个条件。

17.天空为啥是蓝色的？墨镜的工作原理。

我们所看到的蓝天是因为空气分子和其他微粒对入射的太阳光进行选择散射的结果。散射强度与微粒的大小有关。当微粒的直径小于可见光波长时，散射强度和波长的4次方成反比，不同波长的光被散射的比例不同，此亦成为选择性散射。当太阳光进入大气后，空气分子和微粒(尘埃、水滴、冰晶等)会将太阳光向四周散射。组成太阳光的红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫7种光中，红光波长最长，紫光波长最短。波长比较长的红光透射性最大，大部分能够直接透过大气中的微粒射向地面。而波长较短的蓝、靛、紫等色光，很容易被大气中的微粒散射。以入射的太阳光中的蓝光(波长为 $0.425\mu\text{m}$)和红光(波长为 $0.650\mu\text{m}$)为例，当光穿过大气层时，被空气微粒散射的蓝光约比红光多5.5倍。因此晴天天空是蔚蓝的。但是，当空中有雾或薄云存在时，因为水滴的直径比可见光波长大得多，选择性散射的效应不再存在，不同波长的光将一视同仁地被散射，所以天空呈现白茫茫的颜色。

如果说短波长的光散射得更强，你一定会问为什么天空不是紫色的。其中一个原因就是在太阳光透过大气层时，空气分子对紫色光的吸收比较强，所以我们所观测到的太阳光中的紫色光较少，但并不是绝对没有，在雨后彩虹中我们很容易观察到紫色的光。另外一个原因和我们的眼睛本身有关。在我们的眼睛中，有3种类型的接收器，分别称之为红、绿和蓝锥体，它们只对相应的颜色敏感。当它们受到外界的光刺激时，视觉系统会根据不同接受器受到刺激的强弱重建这些光的颜色，也就是我们所看到物体的颜色。事实上，红色锥体和绿色锥体对蓝色和紫色的刺激也有反映，红锥体和绿锥体同时接受到阳光的刺激，此时蓝锥体接收到蓝光的刺激较强，最后它们联合的结果是蓝色的，而不是紫色的。

天空的蓝色只是在低空才能看见，随着高度的增加，由于空气越来越稀薄，大气分子的数量急剧减少，分子散射出的光辉逐渐减弱，天空的亮度越来越暗，到20千米以上的高度，散射作用几乎看不出来，天空就成黑色的了。

墨镜的工作原理：在镜片中加入可以吸收光的材料。

18.什么是超导现象？大概介绍下高温超导。

超导是指某些物质在一定温度条件下（一般为较低温度）电阻降为零的现象。

1986年柏诺兹和缪勒发现了35K 超导的钡铜氧化物体系。这一突破性发现导致了更高温度的一系列稀土钡铜氧化物超导体的发现。通过元素替换，1987年初美国吴茂昆（朱经武）等和我国物理所赵忠贤等宣布了90K 钇钡铜氧超导体的发现，第一次实现了液氮温度（77 K）这个温度壁垒的突破。柏诺兹和缪勒也因为他们的开创性工作而荣获了1987年度诺贝尔物理学奖。

19.大概估算下从金属中取出一个电子需要多大能量？它的物理名词叫什么？

叫做脱出功，使用光电效应来估算，选择 $6 \times 10^{14} \text{Hz}$ 的光来估算（可见光波长范围4000—7600埃，频率 $7.5 \sim 3.9 \times 10^{14}$ 赫兹），普朗克常数为 6.626×10^{-34} ，能量约为 $h\nu = 2.50 \text{eV}$ ，数量级正确，实验上大多数金属多为4eV左右。

20.炭纳米管为什么喜欢缠在一起而不好分开？

比表面积大，比表面能大。体积越大，比表面能越小，稳定状态能量趋于最小。

21.默写 maxwell 方程组，默写薛定谔方程，默写氢原子基态波函数。

麦克斯韦方程组和薛定谔方程见前面，氢原子的基态波函数： $\psi_{100}(r, \theta, \phi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-r/a}$ ，其中

$a = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2}$ ，称为波尔半径。

22.对于导体型的碳纳米管参杂到绝缘体中，为什么需要的碳管量比石墨要少的多？

碳纳米管是一种管状的碳分子，管上每个碳原子采取SP2杂化，相互之间以碳-碳 σ 键结合起来，形成由六边形组成的蜂窝状结构作为碳纳米管的骨架。每个碳原子上未参与杂化的一对p电子相互之间形成跨越整个碳纳米管的共轭 π 电子云。按照管子的层数不同，分为单壁碳纳米管和多壁碳纳米管。管子的半径方向非常细，只有纳米尺度，几万根碳纳米管并起来也只是一根头发丝宽，碳纳米管的名称也因此而来。而在轴向则可长达数十到数百微米。

σ 键是价键理论和分子轨道理论中一种化学键的名称。由两个相同或不不同的原子轨道沿轨道对称轴方向相互重叠而形成的共价键，叫做 σ 键。一般的“单键”都属于这种 σ 键，比如C-H, O-H, N-H, C-C, C-Cl等等。由两个相同或不不同的原子轨道沿轨道对称轴方向相互重叠而形成的共价键，叫做 σ 键。 σ 键是原子轨道沿轴方向重叠而形成的，具有较大的重叠程度，因此 σ 键比较稳定。 σ 键是能围绕对称轴旋转，而不影响键的强度以及键跟键之间的角度（键角）。根据分子轨道理论，两个原子轨道充分接近后，能通过原子轨道的线性组合，形成两个分子轨道。其中，能量低于原来原子轨道的分子轨道叫成键轨道，能量高于原来原子轨道的分子轨道叫反键轨道。以核间轴为对称轴的成键轨道叫 σ 轨道，相应的键叫 σ 键。以核间轴为对称轴的反键轨道叫 σ^* 轨道，相应的键叫 σ^* 键。分子在基态时，构成化学键的电子通常处在成键轨道中，而让反键轨道空着。

σ 键是共价键的一种。它具有如下特点：

1. σ 键有方向性，两个成键原子必须沿着对称轴方向接近，才能达到最大重叠。
2. 成键电子云沿键轴对称分布，两端的原子可以沿轴自由旋转而不改变电子云密度的分布。
3. σ 键是头碰头的重叠，与其它键相比，重叠程度大，键能大，因此，化学性质稳定。共价单键是 σ 键，共价双键有一个 σ 键， π 键，共价三键由一个 σ 键，两个 π 键组成。

23.近几年的诺贝尔物理奖都给了什么领域？

2009：在光学通信领域中光的传输的开创性成就；发明了成像半导体电路——电荷耦合器件图像传感器CCD

2010：关于二维石墨烯材料的开创性实验

2011：通过观测超新星发现宇宙的加速扩张

2012：突破性的试验方法使得测量和操纵单个量子系统成为可能

24.黄老师做出了超疏水纸，其基本原理是什么？

疏水状态与表面形貌和表面自由能有很大的关系，滤纸是纤维素交织在一起组成的一种膜，这种膜已经具有了微米级的孔状结构，只需要在其表面修饰上纳米级的微粒，并降低其表面自由能即可达到超疏水状态。以溶胶法制备出低表面自由能的纳米粒子，让其在纤维素表面形成凝胶，包裹住纤维素表面，从而使滤纸表面形成了纳米—微米级复合结构。

25. 什么是玻色爱因斯坦凝聚？为什么光可以减速原子？

常温下的气体原子行为就象台球一样，原子之间以及与器壁之间互相碰撞，其相互作用遵从经典力学定律；低温的原子运动，其相互作用则遵从量子力学定律，由德布洛意波来描述其运动，此时的德布洛意波波长 λ_{db} 小于原子之间的距离 d ，其运动由量子属性自旋量子数来决定。我们知道，自旋量子数为整数的粒子为玻色子，而自旋量子数为半整数的粒子为费米子。

玻色子具有整体特性，在低温时集聚到能量最低的同量子态(基态)；而费米子具有互相排斥的特性，它们不能占据同一量子态，因此其它的费米子就得占据能量较高的量子态，原子中的电子就是典型的费米子。早在1924年玻色和爱因斯坦就从理论上预言存在另外的一种物质状态——玻色爱因斯坦凝聚态，即当温度足够低、原子的运动速度足够慢时，它们将集聚到能量最低的同量子态。此时，所有的原子就象一个原子一样，具有完全相同的物理性质。

根据量子力学中的德布洛意关系， $\lambda_{db}=h/p$ 。粒子的运动速度越慢（温度越低），其物质波的波长就越长。当温度足够低时，原子的德布洛意波长与原子之间的距离在同一量级上，此时，物质波之间通过相互作用而达到完全相同的状态，其性质由一个原子的波函数即可描述；当温度为绝对零度时，热运动现象就消失了，原子处于理想的玻色爱因斯坦凝聚态。

光可以减速原子

光必须有恰好的频率或颜色。这是因为光子的能量正比于光的频率，而光的频率又决定光的颜色。因此组成红光的光子比起组成蓝光的光子能量要低些。是什么决定光子应有多大的能量才能对原子起作用呢？是原子的内部结构。

原子处于一定的能级状态，能级的跃迁就是原子吸收和发射光子的过程。原子的能级是一定的，它吸收和发射光子的频率也是一定的。如果正在行进中的原子被迎面而来的激光照射，只要激光的频率和原子的固有频率一致，就会引起原子的跃迁，原子会吸收迎面而来的光子而减小动量。与此同时，原子又会因跃迁而发射同样的光子，不过它发射的光子是朝着四面八方的，因此，实际效果是原子的动量每碰撞一次就减小一点，直至最低值。动量和速度成正比，动量越小，速度也越小。因此所谓激光冷却，实际上就是在激光的作用下使原子减速。

26. 能带论→导体、绝缘体、半导体能带图、区分方式、电导率的差别

通常把电阻系数小的（电阻系数的范围约在 $0.01 \sim 1$ 欧毫米/米）、导电性能好的物体叫做导体。例如：银、铜、铝是良导体；

电阻系数很大的（电阻系数的范围约为 $10 \sim 10^6$ 欧姆·毫米/米）、导电性能很差的物体叫做绝缘体。例如：陶瓷、云母、玻璃、橡胶、塑料、电木、纸、棉纱、树脂等物体，以及干燥的木材等都是绝缘体（也叫电介质）。

导电性能介于导体和绝缘体之间的物体叫做半导体。例如：硅、锗、硒、氧化铜等都是半导体。半导体在电子技术领域应用越来越广泛。

按固体能带理论，物质的核外电子有不同的能量。根据核外电子能级的不同，把它们的能级划分为三种能带：导带、禁带和价带（满带）。

在禁带里，是不允许有电子存在的。禁带把导带和价带分开，对于导体，它的大量电子处于导带，能自由移动。在电场作用下，成为载流子。因此，导体载流子的浓度很大

对绝缘体和半导体，它的电子大多数都处于价带，不能自由移动。但在热、光等外界因素的作用下，可以使少量价带中的电子越过禁带，跃迁到导带上去成为载流子。

绝缘体和半导体的区别主要是禁带的宽度不同。半导体的禁带很窄，（一般低于 3eV ），绝缘体的禁带宽一些，电子的跃迁困难得多。因此，绝缘体的载流子的浓度很小。导电性能很弱。实际绝缘体里，

导带里的电子不是没有，并且总有一些电子会从价带跃迁到导带，但数量极少。所以，在一般情况下，可以忽略在外场作用下它们移动所形成的电流。但是，如果外场很强，束缚电荷挣脱束缚而成为自由电荷，则绝缘体就会被“击穿”而成为导体。

27. 晶体概念、晶格结构、对称性、配位数、硬度问题、布拉格劳厄公式

晶体：是由离子，原子或分子（统称为粒子）有规律的排列而成的，具有周期性和对称性

非晶体：有序度仅限于几个原子，不具有长程有序性和对称性

点阵：格点的总体称为点阵

晶格：晶体中微粒重心，周期性的排列所组成的骨架，称为晶格

格点：微粒重心所处的位置称为晶格的格点（或结点）

晶体的周期性和对称性：晶体中微粒的排列按照一定的方式不断的做周期性重复，这样的性质称为晶体结构的周期性。晶体的对称性指晶体经过某些对称操作后，仍能恢复原状的特性。（有轴对称，面对称，体心对称即点对称）

密勒指数：某一晶面分别在三个晶轴上的截距的倒数的互质整数比称为此晶面的密勒指数

配位数：可用一个微粒周围最近邻的微粒数来表示晶体中粒子排列的紧密程度，称为配位数

致密度：晶胞内原子所占体积与晶胞总体积之比称为点阵内原子的致密度

固体物理学元胞：选取体积最小的晶胞，称为元胞：格点只在顶角，内部和面上都不包含其他格点，整个元胞只含有一个格点：元胞的三边的平移矢量称为基本平移矢量（或者基矢）；突出反映晶体结构的周期性

元胞：体积通常较固体物理学元胞大；格点不仅在顶角上，同时可以在体心或面心上；晶胞的棱也称为晶轴，其边长称为晶格常数，点阵常数或晶胞常数；突出反映晶体的周期性和对称性。

布拉菲格子：晶体由完全相同的原子组成，原子与晶格的格点相重合而且每个格点周围的情况都一样

复式格子：晶体由两种或者两种以上的原子构成，而且每种原子都各自构成一种相同的布拉菲格子，这些布拉菲格子相互错开一段距离，相互套购而形成的格子称为复式格子，复式格子是由若干相同的布拉菲格子相互位移套购而成的

声子：晶格简谐振动的能量化，以 $h\nu_i$ 来增减其能量， $h\nu_i$ 就称为晶格振动能量的量子叫声子

非简谐效应：在晶格振动势能中考虑了 δ^2 以上 δ 高次项的影响，此时势能曲线能是非对称的，因此原子振动时会产生热膨胀与热传导

点缺陷的分类：晶体点缺陷：①本征热缺陷：弗伦克尔缺陷，肖脱基缺陷②杂质缺陷：置换型，填隙型③色心④极化子

晶体的硬度和晶胞的空间构架有关，金刚石晶胞的空间构架好一些，其硬度就大于石墨，就是这个道理，还有与构成晶体的元素和元素之间的键能有关，如原子晶体>离子晶体>分子晶体

29. XRD、AFM、SEM、STM、TEM 等探测手段

XRD是x射线衍射，可以分析物相，SEM是扫描电镜，主要是观察显微组织，TEM是透射电镜，主要观察超显微结构。AES是指能谱，主要分析浓度分布。STM扫描隧道显微镜，也是观察超微结构的。AFM是原子力显微镜，主要是观察表面形貌用的。

30. 薛定谔波函数及其变化、光电效应、量子力学建立背景、测不准原理以及应用、全同粒子、霍尔效应

不确定原表明：一个微观粒子的某些物理量（如位置和动量，或方位角与动量矩，还有时间和能量等），不可能同时具有确定的数值，其中一个量越确定，另一个量的不确定程度就越大。测量一对共轭量的误差（标准差）的乘积必然大于常数 $h/2\pi$ （ h 是普朗克常数）是海森堡在1927年首先提出的，它反映了微观粒子运动的基本规律——以共轭量为自变量的概率幅函数（波函数）构成傅立叶变换对；以及量子力学的基本关系（ $E=h/2\pi\omega$ ， $p=h/2\pi k$ ），是物理学中又一条重要原理。

当两个算符 F 和 G 不对易时，一般的讲，我们不能有同时的确定值。我们直接从对易关系来肯定

这一结论，并估计在同一个态中，两个不对易算符F和G不确定程度之间的关系。

应用主要有：位置-动量关系 $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ ；角动量之间关系 $\overline{(\Delta L_x)^2} \cdot \overline{(\Delta L_y)^2} \geq \frac{m^2 \hbar^4}{4}$ ；能

量-时间关系 $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$ ；利用测不准关系可对一些物理量作量级的估计，还可以求谐振子的基态能量。

全同粒子指内禀属性（质量、电荷、自旋等）完全相同的粒子。它们可以是基本粒子，也可以是由基本粒子构成的复合粒子(如 α 粒子)。全同粒子的重要特点：在同样的物理条件下，它们的行为完全相同，因此用一个全同粒子代替另一粒子，不引起物理状态的变化。在经典力学中，即使是全同粒子，也总是可以区分的。因为我们总可以从粒子运动的不同轨道来区分不同的粒子。而在量子力学中由于波粒二象性，和每个粒子相联系的总有一个波。随着时间的变化，波在传播过程中总会出现重叠，在两个波重叠在一起的区域，无法区分哪一个是第一个粒子的波，哪一个是第二个粒子的波。因此全同粒子在量子力学中是不可区分的。我们不能说哪个是第一个粒子，哪个是第二个粒子。全同粒子的不可区分性，在量子力学中称为全同性原理。从全同性原理出发，可以推知，由全同粒子组成的体系具有以下性质：全同粒子体系的哈密顿算符具有交换对称性。

31. 热力学定律、相变、统计规律、玻色-爱因斯坦凝聚

热力学第一定律也就是能量守恒定律。一个热力学系统的内能增量等于外界向它传递的热量与外界对它做功的和。（如果一个系统与环境孤立，那么它的内能将不会发生变化。）表达式： $\Delta E = -W + Q$ ， $\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$ [1]

热力学第二定律：克劳修斯表述——热量可以自发地从较热的物体传递到较冷的物体，但不可能自发地从较冷的物体传递到较热的物体；开尔文-普朗克表述——不可能从单一热源吸取热量，并将这热量变为功，而不产生其他影响。熵表述——随时间进行，一个孤立体系中的熵总是不会减少。热力学第二定律的两种表述（前2种）看上去似乎没什么关系，然而实际上他们是等效的，即由其中一个，可以推导出另一个。热力学第二定律的每一种表述，揭示了大量分子参与的宏观过程的方向性，使人们认识到自然界中进行的涉及热现象的宏观过程都具有方向性。

热力学第三定律通常表述为绝对零度时，所有纯物质的完美晶体的熵值为零。或者绝对零度（ $T=0K$ ）不可达到。R.H. 否勒和E.A. 古根海姆还提出热力学第三定律的另一种表述形式：任何系统都不能通过有限的步骤使自身温度降低到0K, 称为0K不能达到原理。

热力学第零定律：如果两个热力学系统中的每一个都与第三个热力学系统处于热平衡，那么它们也必定处于热平衡。热力学第零定律是热力学三大定律的基础。

物质从一种相转变为另一种相的过程。物质系统中物理、化学性质完全相同，与其他部分具有明显分界面的均匀部分称为相。与固、液、气三态对应，物质有固相、液相、气相。

如果物质不断冷下去、冷下去……一直冷到不能再冷下去，比如说，接近绝对零度（ -273.15°C ）吧，在这样的极低温下，物质又会出现什么奇异的状态呢？这时，奇迹出现了——所有的原子似乎都变成了同一个原子，再也分不出你我他了！这就是物质第五态——玻色-爱因斯坦凝聚态（以下简称“玻色凝聚态”——玻色-爱因斯坦凝聚态）

玻色子具有整体特性，在低温时集聚到能量最低的同一量子态(基态)；而费米子具有互相排斥的特性，它们不能占据同一量子态，因此其它的费米子就得占据能量较高的量子态，原子中的电子就是典型的费米子。早在1924年玻色和爱因斯坦就从理论上预言存在另外的一种物质状态——玻色-爱因斯坦凝聚态，即当温度足够低、原子的运动速度足够慢时，它们将集聚到能量最低的同一量子态。此时，所有的原子就象一个原子一样，具有完全相同的物理性质。

根据量子力学中的德布洛意关系， $\lambda_{db} = h/p$ 。粒子的运动速度越慢（温度越低），其物质波的波长

就越长。当温度足够低时，原子的德布罗意波长与原子之间的距离在同一量级上，此时，物质波之间通过相互作用而达到完全相同的状态，其性质由一个原子的波函数即可描述；当温度为绝对零度时，热运动现象就消失了，原子处于理想的玻色爱因斯坦凝聚态。

附录 一些学长的问题

一、所报专业：光学（激光低维氧化物方向），本科专业为电子方向

1. 画出基本放大电路、双极型晶体管；

2. 200伏电压如何转换成2万伏的高压，有哪些方法？

如果输入是交流，需要也是交流，则直接用变压器升压即可；如果输入是直流，则需要先用斩波器将其变成直流，再升压；如果需要直流，可以用多倍压整流，或高压整流堆。

3. 写出薛定谔方程（该同学没有学过量子力学）；（见前面）

4. 谈谈对能带论的认识，并解释导体、绝缘体、半导体；（见前面）

5. 谈谈对半导体激光器的了解，原理及组成等；

半导体激光器是用半导体材料作为工作物质的激光器，由于物质结构上的差异，不同种类产生激光的具体过程比较特殊。常用工作物质有砷化镓（GaAs）、硫化镉（CdS）、磷化铟（InP）、硫化锌（ZnS）等。激励方式有电注入、电子束激励和光泵浦三种形式。半导体激光器件，可分为同质结、单异质结、双异质结等几种。同质结激光器和单异质结激光器室温时多为脉冲器件，而双异质结激光器室温时可实现连续工作。

半导体激光器是以一定的半导体材料做工作物质而产生受激发射作用的器件。其工作原理是通过一定的激励方式，在半导体物质的能带（导带与价带）之间，或者半导体物质的能带与杂质（受主或施主）能级之间，实现非平衡载流子的粒子数反转，当处于粒子数反转状态的大量电子与空穴复合时，便产生受激发射作用。半导体激光器的激励方式主要有三种，即电注入式，光泵式和高能电子束激励式。电注入式半导体激光器，一般是由砷化镓（GaAs）、硫化镉（CdS）、磷化铟（InP）、硫化锌（ZnS）等材料制成的半导体面结型二极管，沿正向偏压注入电流进行激励，在结平面区域产生受激发射。光泵式半导体激光器，一般用N型或P型半导体单晶（如GaAs, InAs, InSb等）做工作物质，以其他激光器发出的激光作光泵激励。高能电子束激励式半导体激光器，一般也是用N型或者P型半导体单晶（如PbS, CdS, ZnO等）做工作物质，通过由外部注入高能电子束进行激励。在半导体激光器件中，性能较好，应用较广的是具有双异质结构的电注入式GaAs二极管激光器。

半导体激光器是依靠注入载流子工作的，发射激光必须具备三个基本条件：

1. 要产生足够的粒子数反转分布，即高能态粒子数足够的大于处于低能态的粒子数；
2. 有一个合适的谐振腔能够起到反馈作用，使受激辐射光子增生，从而产生激光震荡；
3. 要满足一定的阈值条件，以使光子增益等于或大于光子的损耗。

半导体激光器工作原理是激励方式，利用半导体物质（即利用电子）在能带间跃迁发光，用半导体晶体的解理面形成两个平行反射镜面作为反射镜，组成谐振腔，使光振荡、反馈，产生光的辐射放大，输出激光。

半导体激光器优点：体积小、重量轻、运转可靠、耗电少、效率高等。

6. 什么是负电阻效应？高压可将电器烧坏，如何解决？

由某些器件的负阻现象所引起的效应。负阻现象指某些器件（如某些电子管、晶体管、二极管等）在某种条件下，当电流（或电压）增加时电压（或电流）反而减少的现象。这种现象对电路所起效应，相当于一个负电阻所引起的，故称“负阻效应”。有些器件可利用负阻效应以放大电信号或产生振荡。

比较有名的是固体微波源中产生微波的耿氏二极管，它具有负阻效应。

7. （英语）什么是Fermi level，跟什么因素有关？

就一个由费米子组成的微观体系而言，每个费米子都处在各自的量子能态上。现在假想把所有的费米子从这些量子态上移开。之后再把这些费米子按照一定的规则（例如泡利原理等）填充在各个可

供占据的量子能态上，并且这种填充过程中每个费米子都占据最低的可供占据的量子态。最后一个费米子占据着的量子态即可粗略理解为费米能级。虽然严格来说，费米能级等于费米子系统在趋于绝对零度时的化学势；但是在半导体物理和电子学领域中，费米能级则经常被当做电子或空穴化学势的代名词。一般来说，“费米能级”这个术语所代表的含义可以从上下语境中判断。

费米子可以是电子、质子、中子（自旋为半整数的粒子）对于金属，绝对零度下，电子占据的最高能级就是费米能级。

费米能级的物理意义是，该能级上的一个状态被电子占据的几率是 $1/2$ 。

费米能级在半导体物理中是个很重要的物理参数，只要知道了它的数值，在一定温度下，电子在各量子态上的统计分布就完全确定了。它和温度，半导体材料的导电类型，杂质的含量以及能量零点的选取有关。n 型半导体费米能级靠近导带边，过高掺杂会进入导带。p 型半导体费米能级靠近价带边，过高掺杂会进入价带。

将半导体中大量电子的集体看成一个热力学系统，可以证明处于热平衡状态下的电子系统有统一的费米能级。

二、所报专业：光学，本科专业：光信息科学与技术

1. Why do you come to Insitute of Physics? Where is your home town?

2. （英语）你用 Laview 做了什么？（该同学提到他本科课题中使用过 Laview）;

3. 怎样把太阳光光谱分开，用最简单的办法（同学说了棱镜后老师提示“给你水和镜子”）;

4. 激光脉冲能否无限压缩，为什么？

你可以把激光理解成一个特殊的手电筒。手电筒可以一直亮着，也可以像汽车转向灯一样一闪一闪的。一直亮着的就是连续激光，转向灯似的就是脉冲激光。

两者关键的区别在瞬时功率。脉冲激光把能量集中在很短时间释放，所以瞬间功率特别大。脉冲激光压缩也就是使每个激光脉冲（=灯亮）的时间尽可能缩短，这样可以提高脉冲激光的瞬时功率。

那么提高瞬时功率有什么用？打个比方，瞬时功率就好像武术里的爆发力。力气大的固然攻击力强，但更重要的是瞬间爆发的能力，发力的时间越短，对被攻击方损伤也越大。这样不用我说你也知道激光脉冲压缩和激光武器有没有关系了。

但激光脉冲有多窄（也就是灯亮的时间多短），并不是激光武器以及美国的国家点火装置的困难所在，也就是说激光脉冲压缩技术不是激光武器发展的最大瓶颈，

还是拿爆发力作比方的话，发力太快的，就无法发出很大的力气，发力时间再短，也提升不了多少攻击力。激光脉冲短到一定地步，对于激光武器或者核聚变点火这种追求高功率的应用，就已经没多少再压缩下去的必要了。

但激光脉冲压缩在整个激光技术来看，是激光技术当今及未来发展的最大热点之一。也许你会疑问，前面不是说脉冲短到一定地步，再短下去没什么意义了吗？但我前面说的没意义只是针对武器应用来说。压缩的时间极短的激光无论是在科研上，还是在应用上，都有着极为重要的应用。举几个简单的例子：

照相机有快门，快门时间越短，越能捕捉瞬间的画面，但如果你要看微观的世界，那里发生的事件和过程通常快到根本不可能用普通的光源和快门来捕捉，这时极短的脉冲激光就能买上大用场了。正是飞秒及皮秒脉冲激光（也就是飞秒和皮秒都是时间单位，我飞秒=零点 11 个零一分之一秒，皮秒=零点 14 个 0 一分之一秒）的出现使人们可以对微观世界进行“录像”甚至对一些基本物理定律进行验证。

在应用上，超短脉冲也有很大用场，超短脉冲激光照射物体时，对物体作用有个特点，就是热效应不显著（物体被照了后不容易发热，那么热应力也就没了），另外影响范围很小（极端名副其实的精确打击），但是化学效应显著。这样可以加工一些无法受热的东西或是其他一些传统加工手段无法加工的物质，比如肉体，不发热=不会把肉烧熟了，影响范围小=不会把好肉给切了。。虽然现在激光已经比较广泛的应用于医疗，但将来超短脉冲进一步普及，必然将在医疗领域更广泛的应用。

5. Maxwell 方程组、洛伦兹力的表达式：（见前面）

6. 什么是 Hall 效应? 测量什么? (见前面)

7. 做过印象最深刻的实验是什么?

三、所报专业: 理论物理, 本科专业: 物理学

1. 什么是 Bloch 定理、Bloch 函数? (见前面)

2. 怎么理解磁性? (该同学回答了很多关于超导的问题, 所以被追问下一个问题);

3. 什么是超导体? 是不是电阻为零的就是超导体?

一般材料在温度接近绝对零度的时候, 物体分子热运动几乎消失, 材料的电阻趋近于 0, 此时称为超导体, 达到超导的温度称为临界温度。

4. 导体、绝缘体、半导体的微观解释及各自电导率随温度的变化规律。

(1)在金属能带中, 价带与导带迭合, 价带中存在空能级或者价带全满但导带中有电子, 故电子易迁移进入较高能量状态的空能级中, 金属具有优异的导电性

(2)在绝缘体的能带中, 其价带全部填满, 而导带全部为空能级, 在价带与导带之间存在很宽的禁带 ($>3.0\text{eV}$), 因而电子难以由价带跃迁到导带中, 绝缘体的导电性很差

(3)半导体的能带结构与绝缘体相似, 但其禁带较窄 ($<3.0\text{eV}$), 因而在外电场激发下(如热激发), 电子可由价带跃进导带中而导电, 如果在禁带中靠近导带(或价带)的位置引入附加能级(施主或受主)将显著提高半导体的导电性。

四、所报专业: 凝聚态物理 (纳米光学方向); 本科专业: 光信息科学与技术

1. (英语) 介绍你本科所参加的课题, 你做了什么? (我自我介绍中提到该课题)

2. 如何求解偏微分方程, 有哪些方法? 什么是矢量球谐函数, 有什么性质? 本征函数展开法对原偏微分方程有什么要求? (我那个课题中涉及到的)

3. 当一个物体从大逐渐变小, 会依次发生什么光学现象?

4. 什么是近场?

存在于距电磁辐射源(例如发射天线)一个波长范围内的电磁场。一个声源(如扬声器)附近的声辐射场。在衍射光学中, 近场定义如下: 当入射光波是平面波, 经过透镜会聚后, 以焦斑为中心, 落在其前后半个瑞利长度范围的光场为远场, 否则称为近场。一般来说我们把菲涅耳衍射称为近场衍射。

指放射性废物处置库周围由于处置库的存在而产生较大变化的区域, 包括所有的工程屏障(废物体、废物罐、外包装和回填材料)和库周围延伸几米或几十米的围岩。

近场是一个物理和化学条件急剧变化的复杂区域, 在该区域内, 废物体、包装容器、回填材料和岩石都将随时间的变化, 在温度和辐射场的影响下发生相互作用, 并与地下水发生作用。近场的设计决定了放射性核素释放的速率。在性能评价中, 近场向远场的释放量构成了远场模式计算的源项。

5. 什么是 Hall 效应? 可用来测量什么? 当一个物体从大逐渐变小, 会依次发生什么光学现象?

6. 什么是光折变效应? 什么是光电效应?

光折变效应是光致折射率变化效应的简称。光折变效应首先是由在贝尔实验室工作的 Ashkin 等人于六十年代发现的。他们当初用 LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶体进行光倍频实验时, 意外发现强光辐照会引起晶体折射率的变化, 从而严重地破坏了相位匹配条件。光折变效应已成为光学信息处理的基本手段, 应用于光放大、光振荡、光学记忆、图像存储与复原、空间调制器、全光学时间积分器、图像相减相加和反演、图像相关和卷积等诸多领域。

光电材料在光辐照下, 折射率随光强的分布而变化。电光晶体中的杂质, 空位或缺陷充当点和的施主或受主当晶体在光辐照下, 光激发电荷进入临近能带。光激发载流子因浓度梯度扩散, 最后离开了光照区, 定居于暗光区, 这样就残生了与光强分布对应的空间电荷分布。如果晶体不存在反演性, 空间电荷场将通过线性电光效应在晶体内形成折射率在空间的调制变化或者说在空间内写入体位相光栅。

光照射到某些物质上, 引起物质的电性质发生变化, 也就是光能量转换成电能。这类光致电变的现象被人们统称为光电效应 (Photoelectric effect)。

7. 近代物理实验做过什么实验？（答：核磁共振）解释其原理（自己挖的坑）；

8. 立方结构顶点一个原子 **a**，体心一个原子 **b**，面心一个原子 **c**，请写出其化学式。（ abc_3 ）

五、所报专业：凝聚态物理（超导方向）

1. 为什么出现超导？

BCS 理论：电子间的直接相互作用是相互排斥的库仑力。如果仅仅存在库仑直接作用的话，电子不能形成配对。但电子间还存在以晶格振动（声子）为媒介的间接相互作用。电子间的这种相互作用是相互吸引的，正是这种吸引作用导致了“库珀对”的产生。大致上，其机理如下：电子在晶格中移动时会吸引邻近格点上的正电荷，导致格点的局部畸变，形成一个局域的高正电荷区。这个局域的高正电荷区会吸引自旋相反的电子，和原来的电子以一定的结合能相结合配对。在很低的温度下，这个结合能可能高于晶格原子振动的能量，这样，电子对将不会和晶格发生能量交换，也就没有电阻，形成所谓“超导”。

2. 写出薛定谔方程并解释各项的意义？考虑电子自旋后 **H** 的形式。

Schrodinger equation 描述的是微观领域、中速、无自旋的粒子。如果考虑自旋因素，就要用量子力学方程了。

3. 为什么可以将电子当电子气考虑？

电子气理论是主要解释金属的结构和性质的。金属原子最外层的电子数一般比较少，而且也相对比较容易失去。所以，可以看成金属原子失去外层的电子后，成为金属阳离子，“浸泡”在自由电子的“海洋”中。就好比是金属阳离子处于自由电子的气氛中。用这个理论可以很好的解释金属的很多物理性质，如导电性。

Drude 模型的假设（电子气模型）

（1）自由电子近似（Free electron approximation）：

忽略电子——离子的相互作用

独立电子近似（Independent electron approximation）：

忽略电子——电子之间的相互作用

（2）电子之间的碰撞是瞬时的，经过碰撞，电子速度的改变也是突然的。

（3）电子在 dt 时间所受碰撞的几率正比于 dt/τ ， τ 通常被成为弛豫时间，相应的近似被成为弛豫时间近似。

这个图像所描述的碰撞过程为：电子在某时刻受到碰撞，电子的速度瞬时被改变，然后电子的运动为自由运动，（如果存在外场，会受到外场力的作用），电子平均自由运动 τ 时间后再一次受到碰撞。

4. 物理统计规律有几种？如何定义几种分布？

经典统计（麦玻统计）、波色爱因斯坦统计、费米狄拉克统计。

5. 电子学的基础是什么？

电子学是以电子运动和电磁波及其相互作用的研究和利用为核心而发展起来的，是一门以应用为主要目的的科学技术。它主要研究电子的特性和行为，以及电子器件的物理学科。

6. 超导是否只跟温度有关？（还和原料、配比、加工工艺有关）

六、所报专业：凝聚态物理（纳米材料方向）

1. Maxwell 方程组并解释各项意义；（见前面）

2. 量子力学建立的背景/基础，（回答光电效应，被追问）什么是光电效应？说说测 **Plank** 常数的实验；

第一朵是“紫外灾难”问题的乌云，并且最终诞生了量子物理学；但对于第二朵“以太漂移”否定结果（迈克尔逊莫雷实验）的乌云，与麦克斯韦—玻尔兹曼能量均分学说有关，开尔文认为目前看不到任何可解决的途径，他说“恐怕我们仍然必须把这一朵乌云看作是非常稠密的”，最终，它属于爱因斯坦的相对论范围。正是这两朵小小的“乌云”，在 20 世纪酿起了一场空前的暴风雨，诞生了相对论和量子物理学。

紫外灾难，是指用于计算黑体辐射强度的瑞利—金斯定律在辐射频率趋向于无穷大时计算结果和实验数据无法吻合的物理史事件。关于黑体辐射强度的计算有另外一条在短波中适用的维恩公式，他从热力学理论出发，在分析了实验数据之后，得到了一个半经验的公式：即维恩公式。

维恩公式在短波波段与实验符合得很好，但在长波波段与实验有明显的偏离。后来，在进一步探索更好的辐射公式的过程中，普朗克建立了与所有的实验都符合的辐射量子理论。但是，在利用光学高温计测量温度时，人们仍经常采用维恩公式，因为它计算简单且足够精确。

迈克尔逊—莫雷实验，是 1881 年迈克尔逊和莫雷在德国做的用迈克尔逊干涉仪测量两垂直光的光速差值的一项著名的物理实验。但结果证明光速在不同惯性系和不同方向上都是相同的，由此确定了光速不变原理，从而动摇了经典物理学基础，成为近代物理学的一个发端，在物理学发展史上占有十分重要的地位。

普朗克常数可由光电效应测量出来，根据公式 $eU_0 = h\nu - A$ ， A 为脱出功，此式表明截止电压 U_0 是频率 ν 的线性函数，直线斜率 $k = h/e$ ，只要用实验方法得出不同的频率对应的截止电压，求出直线斜率，就可算出普朗克常数 h 。

3. 为什么检测物质结构用 X 射线，而不用可见光，为什么？

X 射线检测技术是无损检测技术的一种。

X 射线检测则是利用射线穿过物质，并被其衰减来实现检测的，此技术的演化经过了低劣的微光图像获取，有噪声的电离放射线荧光屏成像和高分辨率清晰的数字图像设备等几个阶段。X 射线透射检查法可提供铸件检测部位有无缺陷及缺陷尺寸的照片。X 射线透照法主要应用在铸件和机器部件中出现的诸如裂纹、孔洞和夹杂等缺陷的辨识和评价。

可见光无法穿过物体。

4. 可见光的波长范围？原子大小的量级？

可见光波长范围 4000—7600 埃，1 埃=0.1 纳米= 10^{-10} 米

原子重量两级为 10^{-27} kg，大小量级为 10^{-10} m，原子核大小量级为 10^{-15} m

5. （英语）是否第一次来物理所，来干嘛？

七、所报专业：凝聚态物理（超导方向）

1. 禁带宽的还是禁带窄的浓度大

禁带越宽，能量带变化越大，微扰越大，说明相邻的原子间距越小，浓度越大，反之，越窄浓度越小。

2. 超导特征

迈斯纳效应和零电阻现象是实验上判定一个材料是否为超导体的两大要素。

迈斯纳效应指明了超导态是一个热力学平衡状态，与如何进入超导态的途径无关，超导态的零电阻现象和迈斯纳效应是超导态的两个相互独立，又相互联系的基本属性。单纯的零电阻并不能保证迈斯纳效应的存在，但零电阻效应又是迈斯纳效应的必要条件。因此，衡量一种材料是否是超导体，必须看是否同时具备零电阻和迈斯纳效应。

3. 对哪一个普通物理实验印象比较深刻

4. 热力学三定律以及物理意义→三态水分子（固、液、气）之间的相互作用力

三定律见前面，冰中有氢键相互作用和范德瓦耳力相互作用，液态水和水蒸气中有范德瓦耳力作用。

5. B、M、H 之间的关系

磁场强度：在给定点上的磁感应强度 B 和磁常数之商与磁化强度 M 之差。在真空中，为磁感应

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M$$

强度 B 与磁常数之商。矢量，符号“H”。

6. 原子中电子能谱展宽是什么？

谱线加宽的原因：测不准原理

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h$$

某一时刻，粒子所处的能级有一定的宽度 ΔE

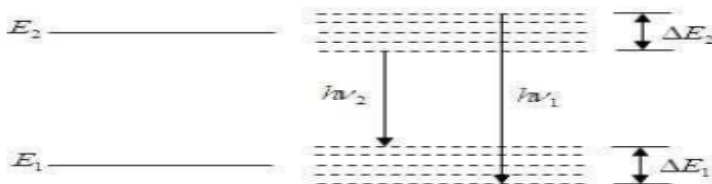
$$\Delta \nu = \nu_1 - \nu_2 = \frac{\Delta E_2 + \Delta E_1}{h}$$

导致谱线加宽

——自然加宽

自然加宽的谱线

宽度记为 $\Delta \nu_N$



7. 谐振子在量子力学里，为什么基态能级不为零？

由不确定原理可以推导出来， $\Delta p^2 = \langle p^2 \rangle$ ， $\Delta x^2 = \langle x^2 \rangle$ ，

$$\frac{\langle p^2 \rangle}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2 \langle x^2 \rangle \geq 2 * \frac{1}{2}\Delta p \Delta x \omega \geq \frac{1}{2}\hbar\omega$$

8. He 的液态温度是多少→如果液氦达到 4.2K 时，怎么样使得温度降得更低？

液氮温度是 -195.6 摄氏度，为 77.55 开氏度，液氦为 4.215K（一个大气压下），到达 4.2K 以后一般采用绝热去磁或者激光制冷方法。

将顺磁性盐放在减压液氮中(温度在 1K 以下)，并加入磁场，进行等温磁化，然后在绝热条件下去掉磁场，由于绝热去磁作用需吸收大量磁化热，便产生致冷效应(即温度降低)，最低温度可达 0.001—0.005K。

激光为什么能制冷呢？原来，物体的原子总是在不停地做无规则运动，这实际上就是表示物体温度高低的热运动，即原子运动越激烈，物体温度越高；反之，温度就越低。所以，只要降低原子运动速度，就能降低物体温度。激光制冷的原理就是利用大量的光子阻碍原子运动，使其减速，从而降低了物体温度。利用光子使原子减速。能量从原子到光子的转换能使原子冷却到绝对温度零上百万分之一度弱。但是只是在极小的尺寸上才能作到这一点。

9. Si 是直接带隙还是间接带隙→与电子浓度有什么关系

直接带隙半导体（Direct gap semiconductor）的例子：GaAs、InP 半导体。相反，Si、Ge 是间接带隙半导体。

直接带隙半导体的重要性质：当价带电子往导带跃迁时，电子波矢不变，在能带图上即是竖直地跃迁，这就意味着电子在跃迁过程中，动量可保持不变——满足动量守恒定律。相反，如果导带电子下落到价带（即电子与空穴复合）时，也可以保持动量不变——直接复合，即电子与空穴只要一相遇就会发生复合（不需要声子来接受或提供动量）。因此，直接带隙半导体中载流子的寿命必将很短；同时，这种直接复合可以把能量几乎全部以光的形式放出（因为没有声子参与，故也没有把能量交给晶体原子）——发光效率高（这也就是为什么发光器件多半采用直接带隙半导体来制作的根本原因，发光的颜色取决于带隙的大小）。

间接带隙半导体材料（如 Si、Ge）导带最小值（导带底）和满带最大值在 k 空间中不同位置。形成半满能带不只需要吸收能量，还要改变动量。间接带隙半导体材料导带最小值（导带底）和满带

最大值在 k 空间中不同位置。电子在 k 状态时的动量是 $(\hbar/2\pi)k$, k 不同, 动量就不同, 从一个状态到另一个必须改变动量。

锗和硅的价带顶 E_v 都位于布里渊区中心, 而导带底 E_c 则分别位于 $\langle 100 \rangle$ 方向的简约布里渊区边界上和布里渊区中心到布里渊区边界的 0.85 倍处, 即导带底与价带顶对应的波矢不同。这种半导体称为间接禁带半导体。

与电子的浓度的关系不清楚。

八、材料专业

1. 能带、晶体的概念 (见前面)

2. 平移对称性

晶体移动任一布拉伐格矢晶体和其自身都重合, 这个性质叫做平移对称性。

3. 从能带角度区分导体、半导体和绝缘体 (经典问题, 见前面)

4. 实验方法区别导体和半导体

导体的电阻一般随着温度升高而变大, 而半导体的电阻一般随着温度的升高而减小。

若果要区分 P 型半导体和 N 型半导体, 需要测其霍尔系数, 根据定的电流、电压以及磁场的正方向, 通过测量实际电压的方向可以求得霍尔系数的正负, 从而确定载流子的类型。

5. 水+冰, 冰溶化后水位的变化 (实验方法判断一级相变和二级相变)

冰比水的密度小, 所以冰融化之后水位会降低 (如果冰的表面也叫水位的话)。

物态变化也称为相变。初中物理讲的物态变化是指固、液、气三种物态间的变化, 这种变化是相变中的一类, 称为一级相变。它的特点是: ①相变过程中, 体积要发生明显的改变; ②相变过程中要吸收或放出所谓的相变潜热、此外, 还有另一类相变, 它们没有以上两个特点, 既不发生体积的突变, 也不吸收或放出相变潜热, 但它的某些特性, 如热容量、热膨胀系数等要发生突变, 这类相变称为二级相变。某些物质在温度低到一定程度时电阻会突然消失, 成为超导体, 就是一种二级相变。

自然界中可以观察到的相变主要是一级相变。二级相变主要是一些比较特殊的相变: 如铁磁相变、超导相变等等。

6. 怎样测晶体结构, 谈一些分析手段

测定晶体结构的方法主要是 x 射线衍射法, 以后又发展了电子衍射和中子衍射。衍射法是根据收集所得的衍射方向和衍射强度的数据, 将隐藏在这些数据中的结构信息, 通过处理、计算、使结构图象重现出来。在衍射法中, 用得最普遍的是 x 射线衍射法, 用单晶作为研究对象, 又能比多晶更方便、更可靠地获得更多的实验数据。

通过衍射方法测定晶体的结构, 能够详细地了解晶体的对称性、晶体内部三维空间中原子的排列情况, 晶体中分子的结构式、立体构型、构象、键长、键角、电荷分布、平均的振动幅度等等的的数据, 了解分子之间的接触距离和氢键, 了解各种单核和多核的络合物和螯合物等的生成情况, 了解离子晶体的配位、构型、离子的大小等情况, 了解金属和合金中原子的堆积方式、原子的大小、晶体的缺陷等等数据。

利用晶体 X 射线衍射可测定晶体结构。但衍射实验只能测得衍射强度 (即结构振幅) 而测不到相角, 这样就不可能直接从强度得到晶体结构数据, 而要利用其他方法。试差法 (模型法) 利用晶体的对称性和其他性质以及结构规则, 对所研究的结构提出合理的模型, 然后从理论上计算晶体的衍射强度, 再把计算值与实验值进行比较, 并经过多次修正模型, 使计算值与实验值尽可能符合。20 世纪

30 年代 A.L.帕特森提出利用结构振幅的平方作为傅里叶级数的系数，进行傅里叶计算，得到帕特森函数图。在图上，峰的位置表示晶胞内原子间向量的位置，分析该图提供的信息，特别是当结构中存在少数重原子的情况下，可以直接推出晶体结构。60 年代出现了可供应用的直接法，直接从实验得到 X 射线强度,利用一系列数学处理，推引出结构因子的相角，实现了直接和自动化测定晶体结构，成为当前测定中小分子结构的主流方法。

7.XRD 图，谱线的多少对应的晶体结构

XRD 是 X 射线衍射分析，XRD 图谱用来分析无机化合物的结构。通过 XRD 可以知道物质中所含的元素，以及元素的化合价，还可以通过相关的计算，得出该物质的空间点阵。

横坐标为 2 倍角，纵坐标为衍射强度，你需要 PDF 卡，找出各个衍射峰代表什么物质。例如第一个衍射峰的角度为 28，你在 PDF 卡里找到 2 倍角为 28 的物质 x，那么这个位置的衍射峰就是 x 的衍射峰，衍射强度越高，代表这个物质含量越多。

8.解释金刚石很硬而石墨不同

金刚石和石墨的化学成分都是碳(C)，互称“同素异形体”。金刚石是目前最硬的物质，而石墨却是最软的物质之一。

石墨内部的碳原子呈层状排列，一个碳原子周围只有 3 个碳原子与其相连，碳与碳组成了六边形的环状，无限多的六边形组成了一层。层与层之间联系力非常弱，而层内三个碳原子联系很牢，因此受力后层间就很容易滑动，这就是石墨很软能写字的原因。

金刚石内部的碳原子呈“骨架”状三维空间排列，一个碳原子周围有 4 个碳原子相连，因此在三维空间形成了一个骨架状，形成空间正四面体的立体网状结构，因此使金刚石具有高硬度的特性。

9.对做过的实验从实验原理到步骤进行解释（可能会在当中对问题进行扩展）

10.实习的情况、科研的情况

11.所选方向相关的问题

九、物理学专业：

1.麦克斯韦方程，怎么样由其中的三个推出剩下的一个

2.判断铁和磁铁棒，不借助外界条件

3.怎样用实验的方法判断金属、半导体

4.测不准原理如何估算氢原子基态能级

$$\hat{H} = \frac{1}{2\mu} \hat{p}^2 - \frac{e^2}{\hat{r}}$$

如果只考虑基态，它可写为

$$\hat{H} = \frac{1}{2\mu} \hat{p}_r^2 - \frac{e^2}{\hat{r}}, \quad \hat{p}_r = -i\hbar \left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r} \right)$$

\hat{p}_r 与 \hat{r} 共轭，于是 $\Delta p_r \Delta r \sim \hbar$

$$\Delta r \sim \frac{\hbar}{p_r}, \text{ 所以 } \Delta p_r \sim \frac{\hbar}{r}$$

$$E = \frac{1}{2\mu} p_r^2 - \frac{e^2}{r} \sim \frac{\hbar^2}{2\mu r^2} - \frac{e^2}{r} \quad \text{即}$$

求极值则有

$$\frac{\partial E}{\partial r} = 0$$

由此得

$$-\frac{\hbar^2}{\mu r^3} + \frac{e^2}{r^2} = 0$$

$$\bar{r} = \frac{\hbar^2}{\mu e^2} = a_0 \quad (\text{玻尔半径}) \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式得基态能量

$$E \sim \frac{\hbar^2}{2\mu a_0^2} - \frac{e^2}{a_0} = -\frac{\mu e^4}{2\hbar^2} = -\frac{e^2}{2a_0} \quad (3)$$

这里用数学分析的方法求极值，运算中作了一些不严格的代换如： $\left\langle \frac{1}{r} \right\rangle \sim \frac{1}{\langle r \rangle} = \frac{1}{\bar{r}}$ 等，

这在估计中是允许的。

5. 准晶（有关今年诺贝尔奖）→晶体、非晶和准晶的区别

准晶是一种介于晶体和非晶体之间的固体。准晶具有完全有序的结构，然而又不具有晶体所应有的平移对称性，因而可以具有晶体所不允许的宏观对称性。准晶是具有准周期平移格子构造的固体，其中的原子常呈定向有序排列，但不作周期性平移重复，其对称要素包含与晶体空间格子不相容的对称（如5次对称轴）。

7. XRD 实验方法分析固体结构的原理

X 射线荧光衍射：利用初级 X 射线光子或其他微观离子激发待测物质中的原子，使之产生荧光(次级 X 射线)而进行物质成分分析和化学态研究的方法。按激发、色散和探测方法的不同，分为 X 射线光谱法(波长色散)和 X 射线能谱法(能量色散)。

当原子受到 X 射线光子(原级 X 射线)或其他微观粒子的激发使原子内层电子电离而出现空位，原子内层电子重新配位，较外层的电子跃迁到内层电子空位，并同时放射出次级 X 射线光子，此即 X 射线荧光。较外层电子跃迁到内层电子空位所释放的能量等于两电子能级的能量差，因此，X 射线荧光的波长对不同元素是特征的。

根据色散方式不同，X 射线荧光分析仪相应分为 X 射线荧光光谱仪(波长色散)和 X 射线荧光能谱仪(能量色散)。

X 射线荧光光谱仪主要由激发、色散、探测、记录及数据处理等单元组成。激发单元的作用是产生初级 X 射线。它由高压发生器和 X 光管组成。后者功率较大，用水和油同时冷却。色散单元的作用是分出想要波长的 X 射线。它由样品室、狭缝、测角仪、分析晶体等部分组成。通过测角器以 1:2 速度转动分析晶体和探测器，可在不同的布拉格角位置上测得不同波长的 X 射线而作元素的定性分析。探测器的作用是将 X 射线光子能量转化为电能，常用的有盖格计数管、正比计数管、闪烁计数管、半导体探测器等。记录单元由放大器、脉冲幅度分析器、显示部分组成。通过定标器的脉冲分析信号可以直接输入计算机，进行联机处理而得到被测元素的含量。

X 射线荧光能谱仪没有复杂的分光系统，结构简单。X 射线激发源可用 X 射线发生器，也可用放射性同位素。能量色散用脉冲幅度分析器。探测器和记录等与 X 射线荧光光谱仪相同。

X 射线荧光光谱仪和 X 射线荧光能谱仪各有优缺点。前者分辨率高，对轻、重元素测定的适应性广。对高低含量的元素测定灵敏度均能满足要求。后者的 X 射线探测的几何效率可提高 2~3 数量级，灵敏度高。可以对能量范围很宽的 X 射线同时进行能量分辨(定性分析)和定量测定。对于能量小于 2 万电子伏特左右的能谱的分辨率差。

8. 双折射的原理

当光射入各向异性晶体(如方解石晶体)后,可以观察到有两束折射光,这种现象称为光的双折射现象。

两束折射线中的一束始终遵守折射定律这一束折射光称为寻常光,通常用 **o** 表示,简称 **o** 光;另一束折射光不遵守普通的折射定律这束光通常称为非常光,用 **e** 表示,简称 **e** 光。

晶体内存在着一个特殊方向,光沿这个方向传播时不产生双折射,即 **o** 光和 **e** 光重合,在该方向 **o** 光和 **e** 光的折射率相等,光的传播速度相等。这个特殊的方向称为晶体的光轴。光轴”不是指一条直线,而是强调其“方向”。

晶体中某条光线与晶体的光轴所组成的平面称为该光线的主平面。**o** 光的主平面,**e** 光的光振动在 **e** 光的主平面内。

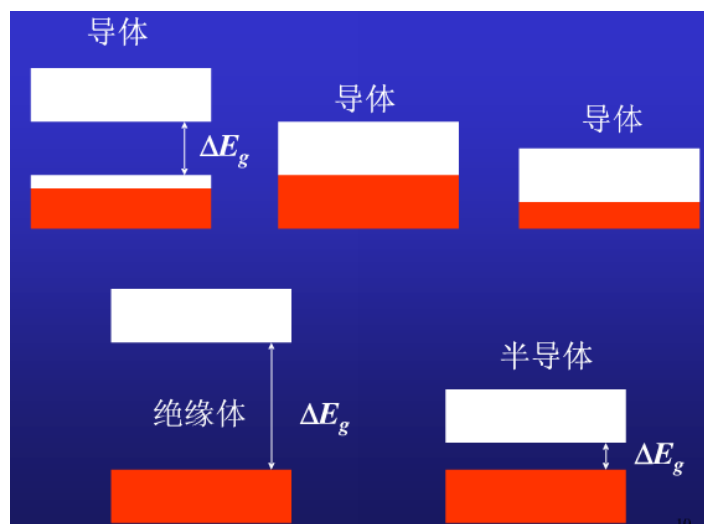
9. 空气的线度 约为 $3 \times 10^{-10} \text{m}$

十、报考方向: 超导、能源(凝聚态)

(1) 第三批面试

1. FCC 的配位数 12

2. 绘制半导体、导体、绝缘体能带图



3. 默写薛定谔方程 (见前面)

4. 用测不准原理估算氢原子能级估 (见前面)

5. 写出 maxwell 方程式并解释其物理意义 (见前面)

6. SEM、TEM、AFM 原理的比较

SEM: 利用二次电子成像, 表面 5—10 nm 的表层形貌像, 最高分辨率目前是 0.4 nm

TEM: 利用透射电子成像, 样品的结构, 形貌, 同时可以观察倒易空间衍射花样, 对于物质结构的解释有直观的优势。并通过倾转得到的系列衍射花样, 推知未知晶体结构。最高分辨率 0.5 Å。

STM: 利用隧穿电流的变化, 得到样品表面原子级分辨像。

HRTEM 和 STM 有本质区别的

STM 是表面局域电子态, 和内部结构并无大关系。TEM 是晶格整体对电子的衍射, 实际样品都有一定厚, 高阶衍射和多次衍射束都有影响, 样品厚度过大的话 (几十个 nm) 就很难得到高分辨像了。另外, 样品的晶轴转向也很有讲究, 否则得到的高分辨像实际是一定角度的投影, 晶格常数就不匹配了。

原子力显微镜 (AFM) 的原理是利用针尖与样品表面原子间的微弱作用力来作为反馈信号, 维持针尖——样品间作用力恒定, 同时针尖在样品表面扫描, 从而得知样品表面的高低起伏。AFM 的基本结构与 STM 相似, 原子间作用力的检测主要由光杠杆技术来实现。如果探针和样品间有力的作用, 悬臂将会弯曲。为检测悬臂的微小弯曲量 (位移), 采用激光照射悬臂的尖端, 四象限探测器就可检测出悬臂的偏转。

7. 光学里放大倍数和分辨率的问题

放大倍数就是用肉眼观察一个物体的张角与用望远镜在同一个地点观察相同物体的角度放大倍数。例如, 肉眼看一只鸟的角度为 6 角分, 而用一个望远镜观察为 60 角分, 则该望远镜的放大倍数为 10 倍。放大倍数 = 物镜焦距 / 目镜焦距。

光学仪器的最小分辨角越小, 分辨率就越高, 提高一起分辨本领的两条基本途径就是: 1. 加大成像系统的通光孔径; 2. 采用较短的工作波长。定义光学仪器的分辨率为: $R = \frac{1}{\theta_{\min}} = \frac{D}{1.22\lambda} \propto D, \frac{1}{\lambda}$

(2) 第四批面试

1. 塞曼效应

塞曼效应, 原子光谱线在外磁场发生了分裂。完整解释塞曼效应需要用到量子力学, 电子的轨道磁矩和自旋磁矩耦合合成总磁矩, 并且空间取向是量子化的, 磁场作用下的附加能量不同, 引起能级分裂。在外磁场中, 总自旋为零的原子表现出正常塞曼效应, 总自旋不为零的原子表现出反常塞曼效应。

斯特恩和盖拉赫实验中, 一束银原子通过非均匀的磁场, 发现银原子分裂为两束。说明磁矩在非均匀磁场中的受力。(详细的见前面)

2. 真空、非真空的朗德因子

CG 系数是一个群的两个不可约表示直积后分解为若干不可约表示直和的系数, 最简单的应用就是两个角动量叠加为一个角动量, 这涉及的群是 SU(2)。

朗德因子是描述有自旋的粒子与磁场相互作用大小的, 更进一步说, 它是由带电粒子与光子的耦合形式决定的, 洛伦兹对称性已经限定死了自旋 1/2 的粒子的朗德因子的零阶修正为 2 了。

因此这两件事风马牛不相及。

朗德因子: 对于多电子的自由原子, 而且是非重原子, 其电子的总自旋角动量, 总轨道角动量, 通过“L-S 耦合”形成总角动量 $J=L+S$, 对应于总角动量的量子数 J 可表示为:

$$J=L+S, L+S-1, \dots, |L-S|$$

式中 L 和 S 分别是电子的总轨道角动量量子数和总自旋角动量量子数[1]。伴随总角动量 J 有对应

的总磁矩 μ_J , 二者的关系为: $\mu_J = -g_J \beta J$

式中 g_J 为朗德因子; β 为玻尔磁子。对于 L 的谱项, 朗德因子为:

$$g_J = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \quad (J \neq 0)$$

$$g_J = L + 2 \quad (J = 0)$$

3. 霍尔效应原理以及应用

磁场测量

利用霍尔公式我们可以知道, 只要知道 U_H , K_H , I_H 等值即可以利用此式计算出磁感应强度 B, U_H 可用毫伏计测量, K_H , I_H 可由相应的仪器测量, 因此就很容易的测量出 B 值, 在现实生活中磁感应强度 B 的测量电路中用三运放组成感生电压放大器, 其中 A_1 、 A_2 , 共同组成第一级结构对称的同相比例运放, 有很高的输入电阻以及较低的漂移和失调, A_3 是差分放大级用于将差分输入转换为单端输出, 据放大器各级输入及输出之间的关系, 可推知输出电压与 U_H 之间的关系为:

$$U_0 = -\frac{R_p}{R_a} \left(1 + \frac{2R}{R_m}\right) U_H \quad (1)$$

又由于 $U_H = K_H \cdot B$, 那么上式可表示为:

$$U_0 = -\frac{R_p}{R_a} \left(1 + \frac{2R}{R_m}\right) K_H I_H B \quad (2)$$

式中 I_c 的数值可由毫安表 A 读取。通过此装置可以很容易测量出磁感应强度 B，并且此装置不仅可以测定恒定磁场的强度，还可以测量交变磁场的强度。

磁流体发电机

平行板间距为 d ，金属板长为 a ，宽为 b ，其间匀强磁场的磁感应强度为 B 。通过板间的等离子体流速为 v_0 电阻率为 P 。从一侧沿垂直磁场且与极板平行的方向射入板间。

磁流体发电机采用的导电流体一般是导电的气体(也可以是液态金属)，常温下的气体是绝缘体，只有在很高的温度下。例如 6000K 以上，才能电离，才能导电。当这种气体以很高的速度通过磁场时，就可以实现具有工业实用价值的磁流体发电机。如图 3，当等离子体进入板间时。其中正离子(速度向右)受向上的洛伦兹力聚集上板，而负离子(速度也向右)受向下的洛伦兹力聚集下板。使上下两板间产生自上而下的电场。后续的正(负离子)受向上(下)的洛伦兹力和向下(上)的电场力，也很快达到一种动态平衡。两板间存在稳定的电势差满足 $qvB=qU/d$ $U=dvB$ 。此时两板就相当于一个电源。电动势 $E=dvB$ ，内阻 $r=pd/ab$ ，当然，依此原理可制作测定磁感应度的仪器—磁强计。

测量半导体特性

霍尔效应对于诸多半导体材料和高温超导体的性质测量来说意义重大。设导体中电流方向如图 1 所示，如果载流子带负电，它的运动方向和电流方向相反，作用在它上面的洛伦兹力向下，因此，导体上界面带正电，下界面带负电；如果载流子带正电，则导体上界面带负电而下界面带正电。由此可以看出，只要测得上下界面间霍尔电压的符号就可以确定载流子的符号。用这种方法就能够测定半导体究竟是 P 型还是 N 型。如果载流子已知，则通过测定霍尔系数 K ，还可算出导体中载流子的浓度 n ，进而得出载流子浓度受其客观因素影响的情况。如由 Lake Shore 公司推出的 Lake Shore 7500 系统，配备专门为 7500 设计的 IDEAS 软件，操作简单、精确，可用于测量样品的电阻、电阻率、霍尔系数、迁移率、载流子浓度和电子特性，能够满足人们多方面的测量需要。

霍尔传感器

以霍尔效应原理构成的霍尔元件、霍尔集成电路、霍尔组件通称为霍尔效应磁敏传感器，简称霍尔传感器。利用霍尔电压与外加磁场成正比的线性关系可做成多种电学和非电学测量的线性传感器。如控制一定电流时，可以测量交、直流磁感应强度和磁场强度；控制电流电压的比例关系，令输出的霍尔电压与电压乘电流成比例，可制成功率测量传感器；当固定磁场强度大小及方向时，可以用来测量交直流电流和电压。利用这一原理还可以进一步精确测量力、位移、压差、角度、振动、转速、加速度等各种非电学量。霍尔传感器在日常和工业生产中应用广泛。

生活中的应用

在日常生活中，霍尔传感器大多应用于家用电器。如录音机的换向机构就是使用霍尔传感器检测磁带终点并完成自动换向功能的；录像机中的磁鼓电机常采用锑化铟霍尔元件；洗衣机中的电动机都必须具有正、反转和高、低速旋转功能，主要依靠霍尔传感器检测与控制电动机的转速、转向来实现。霍尔开关类传感器还用于电饭煲、气炉的温度控制和电冰箱的除霜等方面。

工业中的应用

霍尔式位移传感器的突出优点是输出变化量大、灵敏度高、分辨力强、质量轻、惯性小、反应速度快，适合作动态位移测试。如以半导体材料砷化镓霍尔器件与高性能稀土永磁材料构成的小位移传感器及其检测电路可分辨的最小位移变化量可达 $0.1 \mu m$ 。在冶金、化工、超导体的应用以及高能物理(如可控核聚变)试验装置中有许多超大型电流用电设备。用多霍尔探头制成的电流传感器进行大电流的测量和控制，既可满足测量准确的要求，又不会引起插入损耗，还免除了像使用罗果斯基线圈法中需用的昂贵测试装置。

4.常见的半导体以及砷化镓特性

常见的半导体材料有硅(si)、锗(ge),化合物半导体，如砷化镓(gaas)等;掺杂或制成其它化合物半导体材料，如硼(b)、磷(p)、铟(in)和锑(sb)等。其中硅是最常用的一种半导体材料。

有以下共同特点：

1. 半导体的导电能力介于导体与绝缘体之间
2. 半导体受外界光和热的刺激时，其导电能力将会有显著变化。
3. 在纯净半导体中，加入微量的杂质，其导电能力会急剧增强。

砷化镓是一种重要的半导体材料。属 III—V 族化合物半导体。属闪锌矿型晶格结构，晶格常数 $5.65 \times 10^{-10} m$ ，熔点 $1237^\circ C$ ，禁带宽度 1.4 电子伏。砷化镓于 1964 年进入实用阶段。砷化镓可以制成电阻率比硅、锗高 3 个数量级以上的半绝缘高阻材料，用来制作集成电路衬底、红外探测器、 γ 光子探

测器等。由于其电子迁移率比硅大 5~6 倍，故在制作微波器件和高速数字电路方面得到重要应用。用砷化镓制成的半导体器件具有高频、高温、低温性能好、噪声小、抗辐射能力强等优点。此外，还可以用于制作转移器件—体效应器件。砷化镓是半导体材料中,兼具多方面优点的材料,但它制作的晶体三极管的放大倍数小，导热性差，不适宜制作大功率器件。虽然砷化镓具有优越的性能，但由于它在高温下分解，故要生长理想化学配比的高纯的单晶材料，技术上要求比较高。

5.范霍夫奇点

态密度作为能量的函数，一般是连续的。但在个别的能量点上，态密度有可能出现奇异性（能量对波矢 k 的梯度为 0），这些点称为范霍夫奇点。

二维紧束缚模型在半满时费米能级就是处在范霍夫奇点上。

6.吸收谱以及其应用

每一种化学元素都会在几个对应于能阶轨道的特定波长上产生吸收线，例如，吸收白光中的蓝、绿和黄光会呈现红色，因此吸收谱线可以用来鉴定气体或液体中所含的元素。这种方法也可以用在不可能直接去测量的恒星和其他的气体上出现的现象。

谱线通常是量子系统（通常是原子，但有时会是分子或原子核）和单一光子相互作用产生的。当光子的能量确实与系统内能阶上的一个变化符合时（在原子的情况，通常是电子改变轨道），光子被吸收。然后，它将再自发地发射，可能是与原来相同的频率或是阶段式的，但光子发射的总能量将会与当初吸收的能量相同，而新光子的方向不会与原来的光子方向有任何的关联。

根据气体、光源和观测者三者的几何关系，看见的光谱将会是吸收谱线或发射谱线。如果气体位于光源和观测者之间，在这个频率上光的强度将会减弱，而再发射出来的光子绝大多数会与原来光子的方向不同，因此观测者看见的将是吸收谱线。如果观测者看着气体，但是不在光源的方向上，这时观测者将只会在狭窄的频率上看见再发射出来的光子，因此看见的是发射谱线。

吸收谱线和发射谱线与原子有特定的关系，因此可以很容易的分辨出光线穿越过介质（通常都是气体）的化学成分。有一些元素，像是氢、铯、铷等等，都是透过谱线发现的。光谱线也取决于气体的物理状态，因此它们被广泛的用在恒星和其他天体的化学成分和物理状态的辨识，而且不可能使用其他的方法完成这种工作。

同核异能位移是由于吸收光子的原子核与发射的原子核有不同的电子密度。

除了原子-光子的相互作用外，其他的机制也可以产生谱线。根据确实的物理相互作用（分子、单独的粒子等等）所产生的光子在频率上有广泛的分布，并且可以跨越从无线电波到伽马射线，所有能观测的电磁波频谱。

物质中的某个电子从某一低能级的轨道跃迁到某一高能级的轨道需要一定的能量，即需要吸收某一波长的电磁辐射。紫外光谱就是这个原理。

电子的能级用光谱项来描述，一个光谱项代表一个电子能级，一个体系存在很多的能级，每一个能级都可以用一个光谱项符号来表示。

比如利用有机化合物的紫外吸收光谱，反映结构中生色团和助色团的特性，不完全反映分子特性。还可以利用紫外吸收光谱确定分子的结构。

7.介绍熟悉的物理实验

8.翻译今年诺贝尔物理学奖一段

9.石墨和金刚石的杂化轨道

金刚石 sp^3 石墨 sp^2

金刚石的最小重复单元可以看成正四面体（即与甲烷类似的构型），石墨是平面的，可以看成是苯环在平面上无限的延伸。

石墨是 sp^2 杂化,剩下的一个 p 电子在整个石墨分子层之间形成大派键,因此石墨比金刚石稳定,而石墨层间大派键是石墨可以导电的原因。

10. Bose 爱因斯坦凝聚

11. 量子力学假设以及发展过程概述

假定 I: 体系的状态波函数满足方程;

假定 II: 微观体系的状态由波函数完全描述,从这个波函数可以得出体系的所有性质.波函数一般应满足连续性,有限性和单值性三个条件粒子的状态 ;

假定 III: 力学量(可观测量)用厄米算符表示。如果在经典力学中有相应的力学量,则在量子力学中表示这个力学量的算符,由经典表示式中将动量 p 换为算符 $(-i\hbar \nabla)$ 表示力学量的算符由组成完全系的本征函数。

假定 IV (统计假定): 如果对 $\Psi(x,t)$ 测量力学量 Q , 那么结果一定是力学量 Q 的一个本征值。如果 Q 的谱是分离谱 $\{q_n\}$, 则得到 q_n 的几率为 $|c_n|^2$; 如果 Q 的谱是连续谱 $\{\lambda\}$, 则测量得到值位于 $\lambda \rightarrow \lambda + d\lambda$ 的几率为 $|c_\lambda|^2 d\lambda$

测量以后,波函数发生坍缩,对分离谱,如果测量得到 q_n , 波函数坍缩至 $f_n(x)$, 对连续谱,波函数坍缩至测量处的一个尖峰。

$|c_n|^2$ 具有几率的概念,它是处于 Ψ 态的粒子在测量力学量 Q 之后处于 f_n 态的几率。

假定 V: 全同性原理,即全同粒子所组成的体系中,二全同粒子互相交换不引起体系物理状态的改变。

量子力学是在旧量子论的基础上发展起来的。旧量子论包括普朗克的量子假说、爱因斯坦的光量子理论和玻尔的原子理论。

1900 年,普朗克提出辐射量子假说,假定电磁场和物质交换能量是以间断的形式(能量子)实现的,能量子的大小同辐射频率成正比,比例常数称为普朗克常数,从而得出黑体辐射能量分布公式,成功地解释了黑体辐射现象。

1905 年,爱因斯坦引进光子(光子)的概念,并给出了光子的能量、动量与辐射的频率和波长的关系,成功地解释了光电效应。其后,他又提出固体的振动能量也是量子化的,从而解释了低温下固体比热问题。

1913 年,玻尔在卢瑟福有核原子模型的基础上建立起原子的量子理论。按照这个理论,原子中的电子只能在分立的轨道上运动,原子具有确定的能量,它所处的这种状态叫“定态”,而且原子只有从一个定态到另一个定态,才能吸收或辐射能量。这个理论虽然有许多成功之处,但对于进一步解释实验现象还有许多困难。

在人们认识到光具有波动和微粒的二象性之后,为了解释一些经典理论无法解释的现象,法国物理学家德布罗意于 1923 年提出微观粒子具有波粒二象性的假说。德布罗意认为:正如光具有波粒二象性一样,实体的微粒(如电子、原子等)也具有这种性质,即既具有粒子性也具有波动性。这一假说不久就为实验所证实。

由于微观粒子具有波粒二象性,微观粒子所遵循的运动规律就不同于宏观物体的运动规律,描述微观粒子运动规律的量子力学也就不同于描述宏观物体运动规律的经典力学。当粒子的大小由微观过渡到宏观时,它所遵循的规律也由量子力学过渡到经典力学。

1927 年,海森伯得出的测不准关系,同时玻尔提出了并协原理,对量子力学给出了进一步的阐释。

量子力学和狭义相对论的结合产生了相对论量子力学。经狄拉克、海森伯和泡利等人的工作发展了量子电动力学。20 世纪 30 年代以后形成了描述各种粒子场的量子化理论——量子场论,它构成了描述基本粒子现象的理论基础。

量子力学是在旧量子论建立之后发展建立起来的。旧量子论对经典物理理论加以某种人为的修正或附加条件以便解释微观领域中的一些现象。由于旧量子论不能令人满意,人们在寻找微观领域的规律时,从两条不同的道路建立了量子力学。

1925 年,海森堡基于物理理论只处理可观察量的认识,抛弃了不可观察的轨道概念,并从可观察的辐射频率及其强度出发,和玻恩、约尔丹一起建立起矩阵力学;1926 年,薛定谔基于量子性是微观体系波动性的反映这一认识,找到了微观体系的运动方程,从而建立起波动力学,其后不久还证明了波动力学和矩阵力学的数学等价性;狄拉克和约尔丹各自独立地发展了一种普遍的变换理论,给出量子力学简洁、完善的数学表达形式。

12.爱因斯坦模型和德拜模型

爱因斯坦模型把晶体中的 N 个原子视为 N 个频率相同的各自独立的三维谐振子,完全不考虑使这些原子在平衡位置附近振动,并使它们结合成晶体的原子间相互作用.正是因为忽略了这种由于原子间相互作用而造成的晶体中原子振动的相干性,导致了爱因斯坦模型晶体热容计算结果与实验结果间的系统误差。

德拜模型:德拜模型是德拜提出的计算固体热容的原子振动模型。1912 年,德拜改进了爱因斯坦模型,考虑热容应是原子的各种频率振动贡献的总和,得到了同实验结果符合得很好的固体热容公式。德拜模型把原子排列成晶体点阵的固体看作是一个连续弹性媒质,原子间的作用力遵从胡克定律,组成固体的 n 个原子在三维空间中集体振动的效果相当于 $3n$ 个不同频率的独立线性振子的集合。

按照爱因斯坦温度的定义,爱因斯坦模型的格波的频率大约为 10^{13}Hz ,属于光学支频率.但光学格波在低温时对热容的贡献非常小,低温下对热容贡献大的主要是长声学格波.也就是说爱因斯坦没考虑声学波对热容的贡献是爱因斯坦模型在低温下与实验存在偏差的根源。

在甚低温下,不仅光学波得不到激发,而且声子能量较大的短声学格波也未被激发,得到激发的只是声子能量较小的长声学格波.长声学格波即弹性波.德拜模型只考虑弹性波对热容的贡献.因此,在甚低温下,德拜模型与事实相符,自然与实验相符。

13.电子和格波对于比热的贡献

金属比热容:单位质量金属的热容。金属由构成点阵的金属离子及大量自由电子组成。大量实验事实表明,金属的比热容仅与金属离子的振动有关,自由电子对比热容无贡献,只有在极低温下才需考虑自由电子的贡献。

经典的金属电子论不能解释这点,因为按经典理论,自由电子与金属离子处于热平衡状态,自由电子与金属离子一样,每个自由度均分到 $1/2kT$ 的能量,温度改变时自由电子能量也要改变,因而对比热容应有贡献。

按量子理论,金属中的自由电子不同于经典气体,首先,电子能量不能连续取值,只能占据离散能级,根据泡利不相容原理,每个能级最多只能容纳自旋相反的两个电子;其次,电子按能量的分布不遵守经典的麦克斯韦-玻耳兹曼分布,而是遵守费米-狄拉克统计分布。 $T=0$ 时所有电子占满了能量小于 E_F 的能级,而能量大于 E_F 的能级全空着。在动量空间中画出 E 的封闭等能面,称为费米面。在绝对零度时,所有电子的能量均在费米面所包的区域内。 $T \neq 0$ 时,在任何温度下只有靠近费米能级($E \approx E_F$)的电子才有可能热激发到较高的空能级。较低能级上的电子要激发到空能级需要很大的能量,在常温下不可能实现(E 远大于热运动能 kT),因而对比热容无贡献。在极低温下,金属离子(格波)对比热容的贡献很小(正比于 T 的三次方,减小很快),自由电子的热激发造成的比热容(正比于 T ,比格波的比热容减小慢)就不能忽略。

14.全同粒子(见前面)

15.德拜-爱因斯坦比热模型比较(见前面)

16.布拉格、劳厄各自的贡献

劳厄最著名的工作,即获得 1914 年诺贝尔物理学奖的工作,是发现 X 射线在晶体中的衍射。正如他在诺贝尔奖演讲中所说的那样,这是在研究光波通过周期性点阵排列的粒子的问题时发现的。他的想法是:极短的电磁射线(估计 X 射线就是这样的射线)在晶体媒质中将会引起某种衍射或者说干涉现象。他不仅确定了 X 射线的本质是电磁波,同时也为亨利·布拉格和劳伦斯·布拉格后来的工作开辟了道路。

和劳厄一样,亨利·布拉格也在研究 X 射线的本质,但是,他认为 X 射线可能具有物质的性质,具体地讲,可能是由电子和 α 粒子组成的中性对。1912 年,劳厄图样的公布使得许多科学家相信 X 射线是一种电磁波,照片上的图样是由受晶体散射的 X 射线的干涉形成的。但是,老布拉格仍然坚持认为

X 射线不是电磁波而是一种粒子，并想方设法去加以证明，以便推翻劳厄的理论。为此，他设计了 X 射线分光计，并用它来研究 X 射线的谱分布、波长、普朗克常数、发射体和吸收体的原子量等物理量之间的关系。当时，小布拉格正在剑桥大学从事研究工作。当他得知父亲的想法后，也对 X 射线进行了研究。经过反复探索，小布拉格认为父亲的理论是不对的，X 射线的确是一种电磁波。于是，父子二人互相取长补短，共同切磋。他们使用 X 射线分光计对晶体结构进行精心研究，证明了劳厄图样可以看作是由于晶体中原子富集面对 X 射线的反射形成的，并推出了著名的布拉格方程： $n\lambda = 2d\sin\theta$ ，从而把 X 射线的波长 λ 和反射出现的掠射角 θ 联系起来。式中， d 为相邻原子面的间距， n 为光谱的阶数。

17.超导特性（见前面）

18.热力学三大定律→一级、二级相变的相关原理以及区别比较（见前面）

19.本征值的物理意义→电子跃迁在薛定谔方程中的体现→精细谱线分裂

每次测量结果对应于特定的本征值（与测量相对应的力学量算符的某一本征值），而测量完成时刻，被测系统状态就坍缩到与得到本征值对应的本征态。

为了描述原子中电子的运动规律，薛定谔（Schrödinger）提出了一种波动方程，现在我们就称为薛定谔方程。这个偏微分方程的数学解很多，但从物理意义看，这些数学解不一定是合理的。为了得到原子中电子运动状态合理的解，必须引用只能取某些整数值的三个参数，称它们为量子数（下面第四个也是，但不是从薛定谔方程求出的）。

1.主量子数 n

n 相同的电子为一个电子层，电子近乎在同样的空间范围内运动，故称主量子数。当 $n=1,2,3,4,5,6,7$ 电子层符号分别为 K,L,M,N,O,P,Q。当主量子数增大，电子出现离核的平均距离也相应增大，电子的能量增加。例如氢原子中电子的能量完全由主量子数 n 决定： $E_n = -13.6(\text{eV})/n^2$

2.角量子数 l

角量子数 l 确定原子轨道的形状并在多电子原子中和主量子数一起决定电子的能级。电子绕核运动，不仅具有一定的能量，而且也有一定的角动量 M ，它的大小同原子轨道的形状有密切关系。例如 $M=0$ 时，即 $l=0$ 时说明原子中电子运动情况同角度无关，即原子轨道的轨道是球形对称的；如 $l=1$ 时，其原子轨道呈哑铃形分布；如 $l=2$ 时，则呈花瓣形分布。对于给定的 n 值，量子力学证明 l 只能取小于 n 的正整数： $l=0,1,2,3,\dots,(n-1)$

3.磁量子数 m

磁量子数 m 决定原子轨道在空间的取向。某种形状的原子轨道，可以在空间取不同方向的伸展方向，从而得到几个空间取向不同的原子轨道。这是根据线状光谱在磁场中还能发生分裂，显示出微小的能量差别的结果。磁量子数可以取值： $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$

4.自旋量子数 m_s

直接从薛定谔方程得不到第四个量子数——自旋量子数 m_s ，它是根据后来的理论和实验要求引入的。精密观察强磁场存在下的原子光谱，发现大多数谱线其实由靠得很近的两条谱线组成。这是因为电子在核外运动，还可以取数值相同，方向相反的两种运动状态，通常用 \uparrow 和 \downarrow 表示。每个轨道最多可容纳两个自旋相反的电子。

例子： s 只有一个轨道，形状为球形，容纳两个自旋相反电子

p 有三个轨道，形状为哑铃状，对应着空间直角坐标系的三条轴

d 有五个轨道，形状为花瓣状 有 xy, yz, zx, x^2-y^2, z^2 五条轨道

组成物质的原子中，有不同数量的粒子（电子）分布在不同的能级上，在高级能级上的粒子受到某种光子的激发，会从高级能级跳到（跃迁）到低能级上，这时将会辐射出与激发它的光相同性质的光。能级跃迁首先由波尔提出，但是波尔将宏观规律用到其中，所以除了氢原子的能级跃迁之外，在对其他复杂的原子的跃迁规律的探究中，波尔遇到了很大的困难。

精细结构是由于核自旋磁矩和电子磁矩耦合，核子的质量是电子质量的 1836 倍，其磁矩为电子磁矩的 $1/1836$ 或者说核磁子的数值约为玻尔磁子的 $1/1836$ 。这样原子能级变得更加精细，形成精细结构。

20.光电效应的原理以及建立背景

光照射到某些物质上，引起物质的电性质发生变化，也就是光能量转换成电能。这类光致电变的现象被人们统称为光电效应（Photoelectric effect）。

这一现象是 1887 年赫兹在实验研究麦克斯韦电磁理论时偶然发现的。

1888 年，德国物理学家霍尔瓦克斯证实是由于在放电间隙内出现荷电体的缘故。

1899 年，J.J.汤姆孙通过实验证实该荷电体与阴极射线一样是电子流。

1899—1902 年间，勒纳德对光电效应进行了系统研究，并命名为光电效应。

1905 年，爱因斯坦在《关于光的产生和转化的一个启发性观点》一文中，用光量子理论对光电效应进行了全面的解释。

1916 年，美国科学家密立根通过精密的定量实验证明了爱因斯坦的理论解释，从而也证明了光量子理论。

根据爱因斯坦的光量子理论，射向金属表面的光，实质上就是具有能量 $\epsilon=h\nu$ 的光子流。如果照射光的频率过低，即光子流中每个光子能量较小，当他照射到金属表面时，电子吸收了这一光子，它所增加的 $\epsilon=h\nu$ 的能量仍然小于电子脱离金属表面所需要的逸出功，电子就不能脱离金属表面，因而不能产生光电效应。如果照射光的频率高到能使电子吸收后其能量足以克服逸出功而脱离金属表面，就会产生光电效应。此时逸出电子的动能、光子能量和逸出功之间的关系可以表示成：光子能量- 移出一个电子所需的能量（逸出功）=被发射的电子的最大初动能。即： $E_k(\max)=h\nu-W_0$

21.Si 的晶体结构以及稳定性 金刚石结构

22.做过的业余科研以及曾获得的奖状

23.探测固体结构的几种方式 X 衍射成像，表面用 AFM 或者 STM 直接观察

24.惰性气体 He 变成固体时会变成什么晶格结构

氦在通常情况下为无色、无味的气体；熔点-272.2℃(25 个大气压)，沸点-268.9℃；密度 0.1785 克/升，临界温度-267.8℃，临界压力 2.26 大气压；水中溶解度 8.61 立方厘米/千克水。氦是唯一不能在标准大气压下固化的物质。液态氦在温度下降至 2.18K 时，性质发生突变，成为一种超流体，能沿容器壁向上流动，热传导性为铜的 800 倍，并变成超导体；其比热容、表面张力、压缩性都是反常的。

固态时是六方晶体。