量子力学复习

光的波粒二象性

1. 列举三个与光电磁理论相矛盾的实验

黑体辐射、光电效应、康普顿散射

2. 什么是光电效应？与那些因素有关？

入射光照到金属表面，有电子溢出。与入射光频率有关，与金属的材料有关

3. 简述光电效应的实验结果

a) 对于已定的金属只有当入射光的频率大于某一定值时，才有光电子从金属表面逸出；
b) 光强一定时，光电流i会有一个饱和值i_{max}，饱和电流值i_{max}与入射光强I_L成正比；
c) 光电子逸出的最大初动能$E_{max}=\frac{1}{2}\mu v_{max}^2=eU_c$
d) 截止电压U_C与入射光的频率$\frac{f}{v}$以及金属材料相关$U_C=k\nu-U_C$
e) 光电效应的延迟时间很短

4. 说明光的电磁理论（波动说）与那些实验结果矛盾

黑体辐射、光电效应、康普顿散射

5. 简述爱因斯坦的光量子假说（粒子说）

a) 光具有波粒二象性
b) 对于频率为ν的光，每一个光子的能量$\varepsilon=h\nu=\hbar\omega$
c) 由相对论可以得到光子能量和动量的关系$\varepsilon=Cp\ \ p=\hbar k$

6. 用光量子假说解释光电效应的实验结果

a) 如果光子的能量$h\nu$小于W_0，电子不能脱出金属表面
b) 离开金属表面的光电子的最大能量$E_{max}=h\nu-W_0$
c) 光的频率决定光子的能量，光的强度只决定光子的数目，光子多产生的光电子多
d) 光量子被电子吸收过程类似于“碰撞”需时很短

7. 什么是康普顿散射、波长移动量Δλ？并根据Δλ的值说明什么样的光“粒子性更明显。

是用高频率的X射线通过物质的时候，会发现散射的光出现了其他频率，且随着反射角的增加，波长越长。

$$\Delta\lambda=\lambda-\lambda_0=\frac{h}{m_0c}(1-\cos\varphi)$$

对于光而言，波长越短，频率越大，粒子性更明显。

微观粒子的波粒二象性

1. **波尔的原子理论与经典力学理论在哪里相矛盾?**

   波尔的核模型,原子核外的电子以原子核为中心做绕核运动,只能在固定的绕核半径做运动。而经典力学中，能量能取任意值，半径确定则能量确定。

2. **简述德布罗意假说，并根据该假说说明为什么一般很难观察到粒子的波动性**

   自由电子的波长很短不易观察

3. **微观粒子的波动性如何用实验证明?**

   根据戴维逊和革末的实验，将一个电子枪连续地射出一束电子，透过有微小狭缝的挡板后，通过极薄的金箔产生衍射图在感光板上显示出来，感光板上出现明暗相间的衍射条纹，证明了微观粒子的波动性。

4. **自由粒子的波函数**

$$\Psi = Ae^{\frac{i}{\hbar}(Et-\vec{p}\vec{r})}$$

5. **下图是电子双缝衍射的图案，根据该图案说明该实验是如何设计的，并根据实验结果解释德布罗意波的意义。**

   将像激光一类的相干光束照射到一块刻有两条狭缝的不透明板,通过狭缝的光束会抵达照相胶片或某种探测屏，从记录于照相胶片或某种探测屏的辐照度数据，形成了显示于探测屏的明亮条纹和暗淡条纹相间的图样。将电子一粒粒的打在光屏上，会显示点点亮光。之后增加电子数量会显示很多暗相间的条纹。明亮条纹是相长干涉区域，暗淡条纹是相消干涉区域，这就是由光的波动性使得通过两条狭缝的光束互相干涉形成的图案。解释了德布罗意波是一种概率波，没有确定轨迹，只能用概率描述

6. **波函数的统计解释**

   假设同一时刻有大量的相同粒子（假设它们之间没有相互作用） 在相同的电磁场中运动，则每一个粒子对应的波函数都满足相同的薛定谔方程，且波函数已归一化，波函数的模方 Ψ*Ψ 表示的是微观粒子在t时刻出现在r处单位体积内的几率。这就是波函数的物理意义所在，同时这个解释就是波函数的统计解释。

7. **归一化波函数**

   符合条件$\int_\tau |\Psi(r,t)|^2\, d\tau = \int_\tau \Psi*(r,t)\Psi(r,t)\, d\tau = 1$的波函数称为归一化波函数

8. **量子态**

   微观体系的状态,可以由波函数加以完全的描述,因为波函数给定后,微观粒子的所有力学量的观测值的分布概率都确定了

9. **为什么说微观粒子具有波粒二象性，但是它既不是经典的粒子又不是经典的**

波

经典的粒子具有颗粒性，有确定的运动轨迹；经典的波可以干涉和衍射，具有相干叠加性，体现一个物理量在空间和时间上的周期变化
微观粒子具有颗粒性，又没有确定的运动轨迹；微观粒子的波可以干涉和衍射，具有想干叠加性，但是它不存在在空间和时间上的周期变化，而是概率

力学量的算符 力学量的平均值

1. 力学量的平均值

$$\bar{x} = \int_{-\infty}^{+\infty} |\Phi(\vec{r},t)|^2 \cdot E(\vec{r}) dz$$

2. 哈密顿算符

$$\hat{H} = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$$

3. 动能算符

$$\widehat{E_k} = -\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2$$

4. 动量算符

$$\vec{p} = -i\hbar \nabla$$

5. 势能算符

$$\hat{U} = U(r)$$

6. 力学量算符的本征方程、本征态、本征值

定态薛定谔方程就是能量本征方程，这个方程的形式是算符对函数作用的结果
力学量算符（函数）=力学量的值×函数

$$\hat{H}\Phi(\vec{r},t) = E \cdot \Phi(\vec{r},t) = \widehat{E_k}\Phi(\vec{r},t) + \hat{u}\Phi(\vec{r},t)$$
$$\Phi(\vec{r},t) = \Phi(\vec{r},t)$$

若当前微观粒子的薛定谔方程可以表示成为力学量的本征方程，对于力学量而言，就是确定值，这些确定值被称为本征值，且所对应的量子态称为本征态。

薛定谔方程 定态薛定谔方程

1. 薛定谔方程的算符表示

$$\hat{H} = \widehat{E_k} + \hat{u}$$

2. 薛定谔方程

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\Psi(\vec{r},t)=[-\frac{\hbar^2}{2\mu}\nabla^2+u(\vec{r},t)]\Psi(\vec{r},t)$$

3. **波函数的标准条件**

a) 是t时刻粒子在空间r处单位体积出现的概率，要求波函数处处有限和单值

b) 薛定谔方程中含有对坐标的二阶微商，所以要求波函数有二阶的光滑性

4. **量子力学态叠加原理是什么？若Ψ=Ψ1+Ψ2，根据态叠加原理说明量子态Ψ与Ψ1、Ψ2的关系。**

   假若一个量子系统的量子态可以是几种不同量子态中的任意一种,则它们的归一化线性组合也可以是其量子态。称这线性组合为“叠加态”。 若Ψ=Ψ1+Ψ2成立则代表粒子的一个可能的运动状态。

5. **定态**

   定态是一种量子态，定态的概率密度与时间无关

6. **定态薛定谔方程的算符表示**

$$E=\widehat{E_k}+\widehat{U}$$

7. **定态薛定谔方程**

$$E\Phi(\vec{r})=-\frac{\hbar^2}{2\mu}\nabla^2\Phi(\vec{r})+U(\vec{r})\Phi(\vec{r})$$

8. **为什么说定态薛定谔方程是能量本征方程**

$$\widehat{H}\Phi(\vec{r})=E\Phi(\vec{r})$$

一维无限深势阱:

1. **势阱**

   在一维空间中运动的粒子，它的势能在一定区域（0<x<a）中为0，在此区域外为无限大，这种势能场称为一维无限深势阱

2. **束缚态**

   微观粒子被束缚在有限空间内，能量不连续，零点能不为0；不同的束缚态。如果一个粒子在某个势能场中被约束在一个或几个空间区域内，波函数均为0，则称粒子处于束缚态

3. **一维无限深势阱中运动的粒子的能量特点**

a) 理想的束缚态
b) 能量量子化，不连续
c) 零点能不为零

4. **一维无限深势阱中运动的粒子的概率分布特点**

   存在某些位置上找到粒子的概率为0

5. **什么情况下粒子的“波动性”更明显**

   频率越小，波长越长，质量越小，运动空间越窄的粒子波动性越明显

一维线性谐振子

1. **一维线性谐振子的定态方程**

$$U(x) = \frac{1}{2}\mu\omega^2 x^2$$

2. **量子线性谐振子与经典谐振子的区别（能量、运动）**

   经典谐振子:

   a) 粒子只能在阱内运动
   b) 越接近平衡位置速度越快，找到粒子的概率就越小
   c) 可以静止

   量子谐振子:

   a) 能量不连续
   b) 零点能不为0，不存在静止的谐振子
   c) 粒子可能会出现在阱外

势垒贯穿

1. **一维势垒的定态方程**

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu}\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{1}{2}kx^2\Psi = E\Psi$$

2. **反射系数R**

   反射波概率流密度与入射波概率流密度之比称为反射系数

3. **透射系数D**

   透射波概率流密度与入射波概率流密度之比称为透射系数

4. **量子势垒与经典势垒的区别**

   经典势垒粒子只有能量比势垒大，透射系数为1，反射系数为0,；能量比势垒小，反射系数为1，透射系数为0

   量子势垒任何情况下反射系数和透射系数均不为0

5. **什么是隧道效应，在什么情况下粒子的隧道效应明显?**

微观粒子的能量比势垒低，而有一部分粒子却能穿过去的现象成为隧道效应。波动性明显时，隧道效应明显，质量越小，运动范围越窄

微扰

1. 微扰

$$U(\vec{r},t)=U(\vec{r})+\Delta U(\vec{r},t)$$

2. 定态微扰

微扰方程不含t

3. 含时微扰

微扰方程含t