

# 单光子干涉与光量子行走虚拟仿真实验题库

## 一、是非题

1.光子的能量正比于电磁波的振幅。 ( )

答案：错

2.单光子的二阶关联函数小于 1。 ( )

答案：对

3.量子纠缠是非局域的效应。 ( )

答案：对

4.用线形光学晶体就可以得到纠缠光。 ( )

答案：错

## 二、单选题

1. 假设你有一个量子位 (qubit)，它处于叠加态  $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ ，其中  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ ， $|0\rangle$  和  $|1\rangle$  是量子位的基态。如果我们测量该量子位，并找到它处于状态  $|0\rangle$  的概率是多少？ ( )。

A.  $|\alpha\beta|^2$

B.  $|\alpha|^2$

C.  $|\beta|^2$

D.  $|\alpha|^2 - |\beta|^2$

答案：B

2. 假设有两个量子位 (qubit) 处于以下纠缠态中：

$|\psi\rangle = (\sqrt{3}/2)|00\rangle + (1/2)|11\rangle$ 。如果我们对第一个量子位进行测量，找到它处于状态  $|0\rangle$  的概率是多少？ ( )。

A. 1/2

B. 1/4

C. 3/4

D. 1

答案：C

3. 在迈克耳逊干涉仪的一条光路中，放入一折射率  $n$ ，厚度为  $h$  的透明介质板，放入后，两光束的光程差改变量为 ( )

A.  $2(n-1)h$ ;

B.  $2nh$ ;

C.  $nh$ ;

D.  $(n-1)h$ 。

答案：A

4.牛顿环实验装置是用一平凸透镜放在一平板玻璃上，接触点为  $P$  中间夹层是空气，用平行单色光从上向下照射，并从下向上观察，看到许多明暗相间的同心圆环，这些圆环的特点是： ( )

A.  $P$ 是明的，圆环是等距离的;

B.  $P$ 是明的，圆环是不等距离的;

- C.  $P$ 是暗的, 圆环是等距离的;
- D.  $P$ 是暗的, 圆环是不等距离的。

答案: B

5. 如果偏振光通过一片旋转  $45^\circ$  的偏振片, 原始光线强度为  $I_0$ , 该光经过偏振片后的强度  $I$  是多少?

- A.  $I_0/5$ ;
- B.  $I_0/4$ ;
- C.  $I_0/3$ ;
- D.  $I_0/2$ 。

答案: D

6. 两偏振片堆叠在一起, 一束自然光垂直入射其上时没有光线通过。当其中一偏振片慢慢转动  $90^\circ$  时, 透射光强度发生的变化为( )

- A. 光强单调增加;
- B. 光强先增加, 后又减小至零;
- C. 光强先增加, 后减小, 再增加;
- D. 光强先增加, 后减小, 再增加, 再减小至零。

答案: A

7. 一束自然光以布儒斯特角由空气中入射到一平玻璃上, 则下列叙述中不正确的是( )

- A. 入射角的正切等于玻璃的折射率
- B. 反射线与折射线的夹角为  $\pi/2$
- C. 折射光为平面偏振光
- D. 反射光为平面偏振光

答案: C

8. 设有自然光入射, 当两偏振片的偏振化方向之间的夹角由  $30^\circ$  变为  $45^\circ$  时, 则通过检偏器后透射光的强度之比  $I_{45^\circ}/I_{30^\circ}$  为( )

- A.  $3/2$
- B.  $2/3$
- C.  $1/3$
- D. 3

答案: B

9. 光强为  $I_0$  的自然光垂直通过两个偏振片它们的偏振化方向之间夹角为  $60^\circ$  设偏振片无吸收, 则出射光强  $I$  与入射光强  $I_0$  之比为( )

A. 1/8

B. 3/4

C. 1/4

D. 3/8

答案: A

10. 在双缝干涉实验中, 用单色自然光照色双缝, 在观察屏上会形成干涉条纹若在两缝封后放一个偏振片, 则( )

A、干涉条纹的间距不变, 但明纹的亮度加强

B、干涉条纹的间距不变, 但明纹的亮度减弱

C、干涉条纹的间距变窄, 但明纹的亮度减弱

D、没有干涉条纹

答案: B

11. 一束自然光以布儒斯特角由空气中入射到一平玻璃上, 则下列叙述中不正确的是( )

A. 折射光为平面偏振光

B. 反向光为平面偏振光

C. 入射角的正切等于玻璃的折射率

D. 反向线与折射线的夹角为 $\pi/2$

答案: A

12. 如果一个量子位处于下列叠加态  $|\psi\rangle = (|0\rangle + 2|1\rangle)/\sqrt{5}$ , 试问当我们对该量子位进行测量时, 我们会找到它在  $|0\rangle$  状态的概率是多少? ( )

A. 1/4

B. 3/4

C. 1/8

D. 1/5

答案: D

13. 一个量子位处于叠加态  $|\Psi\rangle = \sqrt{3}/2 |0\rangle + 1/2 |1\rangle$ 。当你对该量子位进行测量, 获得了结果 0, 系统的状态更大可能会坍缩到? ( )

A.  $|1\rangle$

B.  $|0\rangle$

C.  $\sqrt{3}/2 |0\rangle + 1/2 |1\rangle$

D.  $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$

答案: B

15. 若有两个量子位纠缠在一起, 处于以下状态  $|\Psi\rangle = 1/\sqrt{2} (|01\rangle - |10\rangle)$ 。如果我们对第一个量子位(左边的量子位)进行测量并且得到了 1, 那么第二个量子位的状态会是什么?

- A.  $|1\rangle$
- B.  $\sqrt{3}/2 |0\rangle + 1/2 |1\rangle$
- C.  $|0\rangle$
- D.  $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$

答案: C。

16. 单光子的应用领域有哪些?

- A. 量子通信
- B. 量子传感
- C. 光学成像
- D. 量子模拟

答案: ABCD

17. 如何产生单光子?

- A. 非线性光学过程: 通过非线性材料中进行光学过程, 如自发参数下转换或间接谐波生成, 可以产生单光子。这些非线性过程可以将输入光束的能量转移到一个单光子激发态上。
- B. 单光子源: 狭义的单光子源是指只在一个确定的时间发射一个单光子的源。现代单光子源利用发射器或发光二极管, 通过精心设计的结构或量子点来实现单光子的产生。
- C. 量子电子学: 通过控制量子点或其他量子系统中的电子或激子, 可以实现单光子的产生。这可以通过施加电场或在外部条件下调控来实现。
- D. 荧光和发射: 某些材料或分子可以在受到外部激发时发射出单个光子。这可以通过激光激发或其他方法来实现。

答案: ABCD

### 三、主观题

1. 写出薛定谔方程  $i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \hat{H}\psi$ ; 本征值方程:  $\hat{F}\psi = \lambda\psi$ ; 期望值:  $\int \psi^* \hat{F}\psi d\tau$ ; 线性展开:  $\varphi = \sum_n a_n u_n$ ; 和展开系数:  $a_n = \int u_n^* \varphi d\tau$  的狄拉克记号形式。

答案: 薛定谔方程:  $i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \hat{H}\psi \Leftrightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi\rangle = \hat{H}|\psi\rangle$ ,

本征值方程:  $\hat{F}\psi = \lambda\psi \Leftrightarrow \hat{F}|\psi\rangle = \lambda|\psi\rangle$ ,

期望值:  $\int \psi^* \hat{F}\psi d\tau \Leftrightarrow \langle \psi | \hat{F} | \psi \rangle$ ,

线性展开:  $\varphi = \sum_n a_n u_n \Leftrightarrow |\varphi\rangle = \sum_n |n\rangle \langle n | \varphi \rangle$ ,

展开系数:  $a_n = \int u_n^* \varphi d\tau \Leftrightarrow \langle n | \varphi \rangle = \int \langle n | \tau \rangle dx \langle x | \varphi \rangle$ .

答案关键字: 狄拉克记号

解析:

量子态~态矢量~ $|\ \rangle$ : 右矢, 具体的态矢量:  $|A\rangle, |\psi\rangle$ ——波函数  $\psi$  描述的状态;  $|x'\rangle$ ——坐标的本征态(本征值为  $x'$ );  $|p_x\rangle$ ——动量  $x$  分量的本征态(本征值为  $p_x$ );  $|lm\rangle$ ——角动量算符  $(\hat{L}^2, \hat{L}_z)$  的共同本征函数  $Y_{lm}$ ;  $|E_n\rangle$  或  $|n\rangle$ ——能量算符的本征态(本征值为  $E_n$ )。  $\langle \ |$ : 左矢, 具体使用与右矢  $|\ \rangle$  类似

2. 线性谐振子哈密顿量算符： $\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2\hat{x}^2$ ,

已知 
$$\begin{cases} \hat{a} = \left(\frac{m\omega}{2\hbar}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\hat{x} + \frac{i\hat{p}}{m\omega}\right) \\ \hat{a}^\dagger = \left(\frac{m\omega}{2\hbar}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\hat{x} - \frac{i\hat{p}}{m\omega}\right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \hat{x} = \left(\frac{\hbar}{2m\omega}\right)^{\frac{1}{2}}(\hat{a} + \hat{a}^\dagger) \\ \hat{p} = -i\left(\frac{m\omega\hbar}{2}\right)^{\frac{1}{2}}(\hat{a} - \hat{a}^\dagger) \end{cases}$$
, 用产生湮灭算符表达系统哈密顿量。

答案：
$$\begin{aligned} \hat{H} &= \frac{1}{2m}\left(-i\left(\frac{m\omega\hbar}{2}\right)^{\frac{1}{2}}(\hat{a} - \hat{a}^\dagger)\right)^2 + \frac{1}{2}m\omega^2\left(\left(\frac{\hbar}{2m\omega}\right)^{\frac{1}{2}}(\hat{a} + \hat{a}^\dagger)\right)^2 \\ &= \frac{1}{2}\hbar\omega(\hat{a}\hat{a}^\dagger + \hat{a}^\dagger\hat{a}) = \hbar\omega\left(\hat{a}^\dagger\hat{a} + \frac{1}{2}\right) = \hbar\omega\left(\hat{N} + \frac{1}{2}\right) \end{aligned}$$

答案关键字：谐振子，变换

解析：

$$\begin{cases} \hat{a} = \left(\frac{m\omega}{2\hbar}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\hat{x} + \frac{i\hat{p}}{m\omega}\right) \\ \hat{a}^\dagger = \left(\frac{m\omega}{2\hbar}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\hat{x} - \frac{i\hat{p}}{m\omega}\right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \hat{x} = \left(\frac{\hbar}{2m\omega}\right)^{\frac{1}{2}}(\hat{a} + \hat{a}^\dagger) \\ \hat{p} = -i\left(\frac{m\omega\hbar}{2}\right)^{\frac{1}{2}}(\hat{a} - \hat{a}^\dagger) \end{cases}$$

3. 什么是马吕斯定律？它与光的偏振有什么关系？

答案：马吕斯定律的表述为：各向同性介质中，偏振光经过偏振器时，透过偏振器的光的强度与入射角和偏振方向的夹角的平方的余弦成正比。具体来说，如果已知一个偏振光的振动方向和强度并将其通过一个偏振器，交角为 $\theta$ ，那么透过偏振器的光的强度为入射光强度乘以 $\cos^2\theta$ 。也就是说，透过偏振器的光的强度和偏振器的振动方向之间呈二次函数关系。

马吕斯定律与光的偏振有密切关系。在实际应用中，利用偏振器和马吕斯定律可以实现光的偏振调制、偏振分析和光场量测等任务。通常，偏振器可以被用于选择特定方向的光，而马吕斯定律则可以计算透过偏振器的光的强度、偏振方向和交角之间的关系。

答案关键字： $\cos^2\theta$

解析：见答案

4. 偏振光检偏器如何检测偏振光的方向？偏振光检偏器的应用有哪些？

答案：偏振光检偏器通常可以检测偏振光的方向。例如，当偏振片旋转时，除了一个特定方向的偏振光能够透过外，其他方向的偏振光仍被阻挡。同时，可以通过旋转角度、检测透光强度或探测光的方向等方式来检测偏振光的方向。

偏振光检偏器广泛应用于光学、光谱学、激光技术、光学成像、通讯和生物医学等领域，例如可用于调节一些离子激发态退激、光源的衰减、成像等。

答案关键字：偏振光检偏器通常可以检测偏振光的方向

解析：见答案

5. 请列举一些产生偏振光的方法。

答案：偏振片：使用偏振片是最常见和简单的方法之一。偏振片是一种光学装置，它可以选

择性地透过或阻挡特定偏振方向的光。典型的偏振片包括线偏振片(如极化片)和圆偏振片。  
波片: 波片是一种具有特定厚度和材料构成的光学元件。通过透过波片的光经过特定的相位变化, 可以实现线偏振光转化为圆偏振光, 或者实现不同偏振方向之间的转换。

布儒斯特角反射: 当光以特定入射角度照射在介质表面时, 会产生特定的偏振态。在布儒斯特角下, 反射光垂直于反射面的振动方向为线偏振光。通过调整入射角度, 可以产生不同偏振方向的光。

偏振分束器: 偏振分束器可以将入射光的不同偏振方向的分量进行分离。它用于将入射的自然光划分成两束准线偏振光, 每束光的偏振方向垂直于彼此。

双折射晶体: 由于双折射效应, 在某些晶体中, 光传播方向和振动方向可以有不同的折射率。通过适当选择晶体和控制入射角度, 可以使光发生线偏振状态的分离和转换。

电光效应: 电光效应是指在某些材料中, 当施加外部电场时, 材料的光学性质会发生变化。通过控制外部电场, 可以调节光的偏振状态, 例如液晶显示器就是利用了这种效应。

答案关键字: 见答案

解析: 见答案

## 6. 什么是偏振光检偏器?

答案: 偏振光检偏器是一种光学器件, 用于选择性地透过或阻挡特定方向振动的光。它摆脱光的全波长干涉, 而是基于光的偏振性, 透过一部分特定方向振动的光, 并阻挡另一部分振动方向不符的光。

答案关键字: 见答案

解析: 见答案

## 7. 偏振光检偏器的基本原理是什么?

答案: 偏振光检偏器的基本原理是选择或排除某个特定偏振方向的光。它的构造通常涉及到偏振片或偏振片组合, 对于过来的自然光, 它可以通过挑选偏振方向、反射、折射等方式筛选出特定方向振动或偏振的光, 而将其他方向振动或偏振的光阻挡或吸收。

答案关键字: 见答案

解析: 见答案

## 7. 请解释线偏振光和圆偏振光的概念。

答案: 线偏振光是指只在一个平面内振动的光, 有确定的振动方向。它可以沿着水平方向(横偏振)或垂直方向(纵偏振)振动。圆偏振光是指电场矢量按圆弧路径振动的光, 它沿着一个固定的旋转方向旋转。

答案关键字: 见答案

解析: 见答案

## 8. 参量下转换存在哪些应用?

答案: 量子通信: 参量下转换可以产生高度纠缠的光子对, 这些光子对可以用于量子通信中的量子密钥分发、量子隐形传态和量子远程通信等。这些应用依赖于光子之间的量子纠缠, 而参量下转换可以提供纠缠光子对。

量子计算和量子处理: 参量下转换产生的纠缠光子对可以被用作量子比特, 用于量子计算和量子处理任务。这些纠缠光子对可以用于实现量子门操作、量子算法和量子仿真等任务。

单光子源: 通过调整参量下转换实验参数, 可以产生具有单光子特性的光子源, 其产生一个光子的概率为 1。单光子源在量子通信、量子密钥分发和量子计算中起着重要的作用。

量子显微镜和超分辨成像：利用参量下转换产生的相互关联的光子对，可以实现超分辨成像和高灵敏度的光学测量。这对于显微镜的分辨率提升和成像质量的改善非常有益。

单光子检测和光学传感：参量下转换产生的光子常用于单光子检测和光学传感应用。光子可以被用于探测微弱信号、测量光子计数和测量精度光学传感。

光学成像和光学测量：参量下转换可以提供具有特定频率和波长的光子，用于光学成像、光谱测量和光学实验等领域。

答案关键字：见答案

解析：见答案

9. PDC 是什么现象？它是如何工作的？

答案：PDC 是一种非线性光学效应，它涉及到物质与电磁波相互作用的过程。PDC 收到一个泵浦光的作用，这个泵浦光的能量远高于用来描述物质、场或辐射的典型尺度，因此我们可以将其视为一个经典的电磁波。在这样的条件下，物质将产生非线性极化，即它具有一个非零四阶极化张量而导致光学非线性。当光通过非线性介质时，泵浦光子可衰变成一对相互作用的光子：信号光和闲逸光。这个过程涉及到相干性，因此它通常发生在相干的光场中。这种过程遵循能量守恒和动量守恒定律，并且产生信号和闲逸光，其光子的能量低于原来的泵浦光的能量。最初的泵浦光通常是一个单光子状态，而产生的信号光和闲逸光可以是光子态。

答案关键字：见答案

解析：见答案

10. PDC 的光子对在量子信息处理中有什么应用？

答案：PDC 产生的量子相干态对于它们的光学频率是高度相关的，这意味着他们彼此之间具有量子纠缠。这种相干性和纠缠性使得 PDC 光子对在量子信息处理中有许多应用。例如，在量子通信中，PDC 光子对可以作为量子密码协议中的密钥分发，因为这些光子对之间有密切的相互关系，这使得它们可以被追踪到非法操作，从而保护信息的安全。在量子计算中，PDC 光子对可以用来实现测量辅助量子计算或者依据特定的算法和量子门操作构造量子逻辑。此外，PDC 光子对也有可能量子成像和传感器中得到应用。

答案关键字：见答案

解析：见答案

11. 为什么参量下转换是一个重要的激光光源？

答案：首先，参量下转换可以产生用于量子计算和量子通信等领域的高度纠缠的光子对。在参量下转换过程中，产生的信号光和边波光具有相互关联的量子特性，如量子纠缠。这使得它们被广泛应用于量子信息科学中的量子比特的生成、量子纠错和量子通信等方面。其次，参量下转换可以用于产生具有单光子特性的光源。单光子源在量子通信、量子密钥分发和量子计算中具有重要的应用。通过调整参量下转换的实验参数，可以实现单光子的产生，提供了一种可靠的单光子源。此外，参量下转换还可以用于实现超分辨成像和量子显微镜等光学应用。利用参量下转换产生的相互关联的光子对，可以实现超分辨成像和高灵敏度的光学测量。这为实现更高精度的显微镜技术和光学成像提供了新的可能性。最后，参量下转换是一种可调谐的光源。通过调整泵浦光的频率或晶体的温度等实验条件，可以实现信号光和边波光的频率调谐。这使得参量下转换能够适应不同的应用需求，提供所需的特定频率和波长。

答案关键字：见答案

解析：见答案

12. 参量下转换与经典光学非线性效应有何不同？

答案：参量下转换涉及到量子纠缠和量子态操控等量子现象。而经典光学非线性效应则涉及到传统光学物理中的效应，比如二次谐波产生、频率混频等。因此，参量下转换与经典光学非线性效应有本质的不同。

能量守恒和动量守恒：参量下转换遵循能量守恒和动量守恒原则。在这个过程中，一束高能量的泵浦光被分裂成两束较低能量的光子(信号光和边波光)，泵浦光的能量被转移给信号和边波光。而经典光学中的非线性效应通常不考虑能量守恒和动量守恒。

相位匹配：参量下转换需要满足相位匹配条件才能有效发生。相位匹配是指参量下转换中涉及的光学晶体的折射率和泵浦光、信号光、边波光的频率相匹配。只有当折射率满足特定的相位匹配条件时，参量下转换才会发生。而经典非线性效应通常不需要相位匹配条件。

量子特性：由于参量下转换是基于量子力学描述的过程，它体现了量子特性，如量子纠缠和量子干涉。在参量下转换过程中，产生的信号光和边波光通常是纠缠的光子对，它们之间存在量子的相互依赖性。经典非线性效应通常不具备这种量子特性。

单光子源：参量下转换可以用于产生单光子源，即产生一个光子的概率为 1 的光源。这在量子通信和量子计算中非常重要。经典非线性效应通常不能产生单光子源。

答案关键字：见答案

解析：见答案

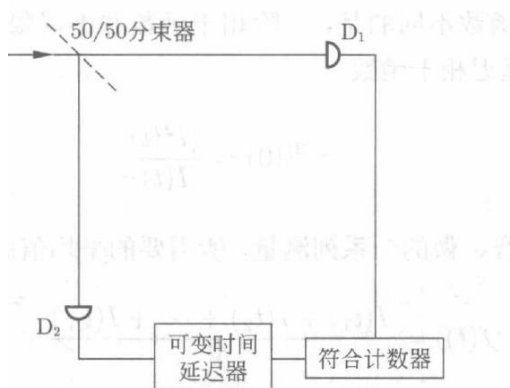
13. 何谓“量子纠缠”？

答案：量子纠缠是量子力学中的一个核心特性，它描述了量子系统中两个或多个粒子的状态以一种非常特殊的方式彼此关联。这种关联是如此深刻，以至于一个粒子的量子态不能独立于另一个粒子的状态。当粒子是纠缠的，对其中一个粒子的测量会即时影响到与之纠缠的其他粒子的状态，不管这些粒子之间的物理距离有多远。这个现象通常被称作“非局域性”，因为它似乎违背了经典物理学中关于信息不能超过光速传播的限制。量子纠缠对于量子信息科学的多个方面都是极其重要的，它在量子计算、量子通信和量子密钥分发等领域都有着关键性的应用。

答案关键字：关联, 非局域性

解析：见内容

14. H-B-T 实验如下图所示：



Hanbury Brown 和 Twiss 实验装备示意图



探测器 $D_1$ 和 $D_2$ 与分束器距离相等。简述这种装置记录光束信息的工作过程。

答案：这种装置测量“延迟符合计数”率，即其中一个探测器在 $t$ 时刻登记一次计数而另一个在 $t + \tau$ 时刻登记另一次。如果时间延迟 $\tau$ 小于相干时间 $\tau_0$ ，入射到分束器上的光束的统计信息就能被确定下来。

答案关键字：见答案

解析：见答案

15.说明什么是符合计数。

答案：符合计数测量是用于测量同时发生或短时间内发生的关联事件。它基于以下原理：如果光子是统计独立发射的，那么它们的时间关系和能量关系应该是随机的。通过同时检测多个光子事件的发生，可以测量它们之间的时间间隔和能量关系，从而获得有关光子统计性质的信息。符合计数通常使用光子探测器(如光电二极管或光闸)来检测光子事件。当一个光子到达探测器时，它会产生一个电信号或触发一个计数器。通过多通道计数器或时间延迟触发电路，可以分析多个探测器之间的时间和能量关系。在量子光学中，符合测量用于对纠缠光子对的判定和单光子干涉等实验。

答案关键字：见答案

解析：见答案

16. 利用单光子实现量子态纠缠涉及到几个步骤：

1:单光子源的制备：首先需要制备一个高效的单光子源，可以通过获得单个光子并将其注入到一组光学元件中来制备单光子。

2:光子的分裂和干涉：利用半反射镜将单光子分裂成两束，然后将两束光子通过干涉产生纠缠。在干涉器件中，光子会同时传播两条路径，通过调节干涉器件中的相位差来使得两束光子相互干涉。

3:激光调节：为了实现精确的干涉，需要对激光的相位进行精确的调整，以确保干涉仅在特定时间和位置发生。

4:光子的探测：通过对干涉器件的输出进行光子探测，可以获取两个光子的纠缠状态，同时也可以观察到光子的干涉图案。

答案关键字：见答案

解析：见答案

17. 什么是纠缠态，如何利用单光子实现量子态纠缠？

答案：纠缠态是指在量子力学中两个或更多的物理系统之间存在一种相互联系的状态，当其中一个系统发生变化时，另一个系统也会同时发生变化。在纠缠态下，两个系统之间的量子态是不可分解的，它们的状态会同时发生变化，而这种变化没有经典物理学中惯常的解释。例如，两个纠缠光子可以经过很远的距离，但它们的状态始终是相互关联的，通过对其中一个光子进行测量，可以得出另一个光子的状态。

答案关键字：见答案

解析：见答案

18. 单光子探测的常用方法有哪些？并简述原理。

答案：a. 光电倍增管：光电倍增管是一种常用的单光子探测器。它包含一个光电阴极和一系列倍增极，通过电子的倍增过程将单个光子转换为电子信号，然后通过电子的加速和倍增，在最终的阳极产生可测量的电流脉冲。

b. 纳米线探测器：纳米线探测器是一种基于超导纳米线制造的单光子探测器。当一个光子进入探测器后，它将激发超导纳米线上的一个电子对，产生一个测量信号，从而实现单光子探测。

c. 单光子雪崩二极管：单光子雪崩二极管是一种高灵敏度的单光子探测器。当一个光子进入探测器时，它会在二极管中产生一个光电子，然后通过电子的雪崩放大效应，产生一个可测量的电流脉冲。

d. 超导单光子探测器：超导单光子探测器是一种基于超导材料制造的高效的单光子探测器。当一个光子进入探测器时，它会破坏超导电流通过二极管的超导态，使其变成正常态，从而产生一个可测量的电压信号。

答案关键字：见答案

解析：见答案

19. 请简要解释量子随机行走，并说明其在量子计算中的作用。

答案：量子随机行走是一种基于量子力学原理的随机行走模型。它是经典随机行走模型在量子力学框架下的量子版本。在经典随机行走中，一个粒子在格子上随机地向左或向右行走，每一步都按照一定的概率进行选择。而在量子随机行走中，粒子由一个量子系统代表，可以处于多个位置的叠加态，并且在每一步中，其状态会根据特定的量子操作进行演化。它与经典随机行走相比，具有更高的信息处理和搜索效率，并且在某些情况下可以实现对称性的放大和加速。量子随机行走还与量子搜索算法、量子游走算法等深度相关，是量子计算中重要的基础性概念之一。

答案关键字：见答案

解析：见答案

20. 什么是单光子干涉？与经典机械波干涉有什么区别？举例实验说明单光子干涉（单光子干涉）。

答案：单光子干涉是一种实验现象，其中两个或多个独立的单光子被同时或依次地发送到一个干涉装置中，观察到它们出现干涉的效应。

在经典光学中，干涉是由波动性导致的，而光的粒子性被忽略。但在量子力学中，光被认为是粒子和波动性的双重性质。当使用单个光子进行干涉实验时，就会观察到单光子干涉的现象。

单光子干涉的典型实验是双缝干涉实验，其中一个单光子依次穿过两个狭缝，然后被探测器探测到。即使只使用一个光子，也会观察到干涉条纹，表明单个光子在两个出射路径上产生干涉。

答案关键字：见答案

解析：见答案

21. 请列举一些常见的量子系统的物理量和相应的观测结果。

答案：常见的量子系统的物理量包括能量、自旋、位置、动量和角动量等。相应的观测结果可以是特定的能量值、自旋向上或向下、特定的位置、动量值或角动量分量值等。

答案关键字：见答案

解析：见答案

22. 量子态坍缩原理是否与量子纠缠相关？为什么？

答案：是的，量子态坍缩原理与量子纠缠密切相关。当两个或多个量子系统纠缠在一起时，

它们的量子态变得相互依赖,无论它们之间的距离有多远。当其中一个系统被观测或测量时,它的量子态会坍缩,同时也影响到与其纠缠的其他系统的量子态,从而实现信息的非局域传递。

答案关键字: 见答案

解析: 见答案

23. 请解释量子 Zeno 效应, 并说明其与量子态坍缩原理的关系。

答案: 量子 Zeno 效应是指频繁的测量可以阻止量子系统的演化。根据量子态坍缩原理, 频繁的测量将导致量子系统的量子态频繁坍缩到观测结果对应的确定态上, 从而阻止了系统在不同态之间的演化。

答案关键字: 见答案

解析: 见答案

24. 什么是量子态坍缩?

答案: 量子态坍缩原理是指当一个量子系统被观测或测量时, 它的量子态会立即坍缩到观测或测量结果对应的一个确定态上。这是量子力学中的重要原理之一。

答案关键字: 见答案

解析: 见答案

25. 请解释量子测量的过程, 并说明量子态坍缩在其中扮演的角色。

答案: 量子测量是通过与量子系统进行相互作用来获取关于系统的信息。在量子测量中, 观测器与被测量的系统相互作用, 并测量系统的某个物理量。测量结果对应于一组可观测态中的一个, 从而导致该系统的量子态坍缩到对应的确定态上。

答案关键字: 见答案

解析: 见答案

26. 幺正操作的特点和运算规则

答案: 幺正操作是量子力学中的一个重要的操作原理, 它描述了量子态的演化和变换过程。幺正操作是指保持量子态的归一性和内积不变的操作, 即幺正操作不改变量子态的长度和相对角度。幺正操作可以用一个幺正算符来表示, 幺正算符  $U$  满足以下性质:

$U$  是一个厄米算符, 即  $U^\dagger = U$  的厄米共轭。

$U$  的逆操作  $U^\dagger$  存在, 即  $U^\dagger U = U U^\dagger = I$ , 其中  $I$  是单位算符。

答案关键字: 见答案

解析: 见答案

27. 如果一个量子比特的初始状态为  $|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ , 其中  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ , 一幺正操作  $U$  直接作用在此状态上, 结果状态记为  $|\Psi'\rangle = U|\Psi\rangle$ 。写出在  $U$  作用下概率保持不变的数学条件。

答案: 概率保持不变意味着幺正操作必须满足  $\langle\Psi'|\Psi'\rangle = \langle\Psi|\Psi\rangle$ 。考虑到幺正操作的定义, 即  $U$  的伴随  $U^\dagger$  和  $U$  自身乘积为单位操作  $I$  (即  $U^\dagger U = I$ ), 这个条件可以用  $|\Psi'\rangle = U|\Psi\rangle$  来表述, 使得:  $\langle\Psi'|\Psi'\rangle = \langle\Psi|U^\dagger U|\Psi\rangle = \langle\Psi|I|\Psi\rangle = \langle\Psi|\Psi\rangle$ 。因此, 幺正操作  $U$  必须满足上述条件, 即  $U^\dagger U = I$ 。这意味着幺正操作不改变量子态的长度(模长), 从而保证了概率不变。

答案关键字: 见答案

解析：见答案

28. 么正操作的原理是什么？

答案：么正操作原理是基于量子力学的一个基本原理，即量子系统的演化由么正算符描述。么正算符作用于量子态矢量会产生量子态的演化，而同时保持了量子态的归一化和总概率为 1 的条件。么正操作是可逆的。因为么正操作是线性算符且保持内积和态矢量长度不变，它对量子系统的演化是可逆的。在数学上，么正操作的逆操作就是它的共轭转置。

答案关键字：见答案

解析：见答案

29. 么正操作和可观测量之间有什么关系？

答案：么正操作和可观测量之间存在着关系。根据量子力学的观测原理，可观测量由厄米算符表示，而么正操作可以通过厄米算符表示为  $e^{iHt}$  的形式，其中  $H$  为厄米算符。因此，么正操作可以用来描述量子系统的演化和变换，而可观测量则描述了可能的测量结果。

答案关键字：见答案

解析：见答案

30. 请举例说明一个常见的么正操作。

答案：一个常见的么正操作是旋转操作。在量子力学中，旋转操作可以由一个么正算符描述，它将系统的态矢量旋转到新的方向上，并保持了态矢量的归一化和总概率为 1 的条件。

答案关键字：见答案

解析：见答案

31. 在双缝干涉实验中，在下列情况下，干涉条纹将如何变化？试说明理由。

a. 入射光由红光换为紫光；b. 屏与双缝的间距增大；c. 在下面一条缝后放一块云母片。

答案：双缝干涉条纹相邻明条纹（或暗条纹）的间距为  $\Delta x = \frac{D}{d}\lambda$

a. 红光变紫光波长  $\lambda$  减小，其他条件不变时，条纹变窄（或密或向屏中央集中）

b.  $D$  不断增大时， $\Delta x$  增大，条纹变稀（或变宽）

c. 在下面一条缝后放一块云母片，通过它的光线的光程增大，干涉条纹向下平移。

答案关键字： $\Delta x = \frac{D}{d}\lambda$

解析：见答案

32. 如果你有一个量子位 (qubit)，最初处于基态  $|0\rangle$ ，你将如何使用量子逻辑门将其转换到等概率的叠加态  $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$ ？

答案：使用一个哈达玛门 (Hadamard gate,  $H$ ) 来操作量子位。哈达玛门是一个著名的单量子位门，可以将  $|0\rangle$  和  $|1\rangle$  转换成它们的叠加态。

具体操作为  $H|0\rangle = (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$ 。

答案关键字：哈达玛门

解析：见答案

33. 请解释薛定谔猫的思想实验，并说明其与量子叠加原理的关系。

答案：薛定谔猫是由薛定谔提出的一个思想实验，假设将一只猫通过一系列的装置与一个放

射性物质的系统进行耦合，当系统处于叠加态时，猫会处于同时死亡和存活的叠加态。这个思想实验说明了量子叠加原理，即微观粒子可以同时处于多个状态的叠加，而不仅仅是二进制的状态。

答案关键字：量子叠加原理

解析：见答案

34. 什么是量子叠加态？举例说明一个常见的量子叠加态。

答案：量子叠加态是量子力学中的一个概念，表示一个量子系统可以处于多个不同态的叠加态之中。在叠加态中，量子系统不处于确定的单一态，而是以一定的概率分布同时处于多个态中。

一个常见的例子是量子比特的叠加态。量子比特可以表示成 $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ 的形式，其中 $\alpha$ 和 $\beta$ 是复数，且满足 $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ 。这里的 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 分别表示量子比特的基态。在叠加态中，量子比特同时处于0态和1态的叠加，并且以概率 $|\alpha|^2$ 和 $|\beta|^2$ 分布在这两个态之间。

答案关键字：叠加态

解析：见答案

35. 量子叠加原理和经典物理中的叠加有何不同之处？

答案：量子叠加原理中，叠加态可以以不同的概率存在于多个态中，而经典物理中的叠加是指两个或多个物理量在叠加时的相加运算。量子叠加原理更多地涉及到概率性的测量和坍缩规则。在经典物理中，物理系统的状态可以任意地叠加在一起，但是每个系统状态的叠加系数必须是正实数。即在经典物理中，叠加系数不能是复数，也不能为负数。而在量子力学中，量子态的叠加系数可以是任意复数。因此，量子态的叠加是相对于经典叠加更加丰富和复杂的。并且，在量子力学中，量子叠加态的演化和测量具有一些奇特的特性。

答案关键字：见答案

解析：见答案

36. 请简要描述干涉实验，并说明其与量子叠加原理的关联。

答案：干涉实验是一种展示量子叠加原理的实验。它通过叠加和干涉的效应来观察波或粒子的行为。例如，双缝干涉实验中，粒子(如光子或电子)通过两个缝隙后形成干涉图案，说明了叠加态和干涉现象与量子叠加原理之间的关联。

答案关键字：见答案

解析：见答案

37. 说明什么是波函数的线性叠加原理。

答案：若 $\phi_1$ 和 $\phi_2$ 都是一个量子体系的波函数，那么其线性叠加 $\psi = c_1\phi_1 + c_2\phi_2$ ，也是该量子体系的波函数。该关系可以推广到多个波函数叠加的情况 $\Psi = \sum_k c_k\phi_k$ 。

答案关键字：见答案

解析：见答案

#### 四、填空题

1. 单光子是指光的最小传播单位，即只包含一个光子的光子态。它具有波粒二象性，可以用来研究量子光学和量子信息科学等领域。对于频率为 $\nu$ ，波长为 $\lambda$ ，沿单位向量 $\vec{n}$ 运动的微观

粒子，能量 $E = (h\nu)$ ，动量 $\vec{p} = (\frac{h}{\lambda}\vec{n})$ 。

2. 符合技术是利用电子学的方法在不同探测器的输出脉冲中把有时间关联的事件选择出来。选择同一时刻脉冲的符合称(为瞬时符合)。选择不同时的,但有一定延迟时间联系的脉冲符合称为(延迟符合)。而排斥同一时刻脉冲或时间关联脉冲的技术就是(反符合)或(延迟反符合)。对于大量的独立事件来说,两个探测器的输出信号同时发生在  $\tau$  时间内,这时符合电路也输出符合脉冲,但这个事件是不具有时间关联的事件,这种符合称(偶然符合)。

3. 在符合分辨时间  $t$  内的两个事件,均可能使符合装置产生一次符合计数。符合计数中包括真符合计数和偶然符合计数。每当在时间间隔  $t$  内存在两个独立事件引起的脉冲时,就可能被符合装置最为符合事件记录下来,这种符合叫(偶然符合)。 $t$  越大,偶然符合计数率也将(越大)。

4. 用脉冲发生器作脉冲信号源,对于瞬发事件,即发生的时间间隔远小于符合的分辨时间  $t$  的事件,测得的延迟符合曲线称为(瞬时符合)曲线。由于标准脉冲发生器产生的脉冲基本上没有时间离散,测得瞬时符合曲线为对称的矩形分布。通常把  $t$  称为(电子学分辨)时间。

5. 偏振片既能作起偏器,也能作检偏器以偏振片作检偏器时,若以入射光为轴线转动偏振片,当入射光为自然光时,则透射光强(不变),当入射光为线偏振光时,透射光强由(明(暗))到(暗(明))周期性地变化。

6. 自然光以入射角  $57^\circ$  由空气投射于一块平板玻璃面上,反射光为完全偏振光,则折射角为( $33^\circ$ )。

7. 一束光是自然光和线偏振光的混合光,让它垂直通过一偏振片。若以此入射光束为轴旋转偏振片,测得透射光强度最大值是最小值的 5 倍,那么入射光束中自然光与线偏振光的光强比值为( $1/2$ )

8. 一束光强为  $I_0$  的自然光,相继通过三个偏振片  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  后出射。已知  $P_1$  和  $P_3$  的偏振化方向相互垂直,若以入射光线为轴,旋转  $P_2$ ,要使出射光的光强为零,  $P_2$  最少要转过的角度是\_\_( $45^\circ$ )

9. 偏振片既能作起偏器,也能作检偏器以偏振片作检偏器时,若以入射光为轴线转动偏振片,当入射光为自然光时,则透射光强(不变)。

10. 参量下转换(Parametric Down-Conversion, PDC)是一种非线性光学过程,其中一束高能光,称为(泵浦光)通过(非线性光学)晶体时,被分裂成两束较低能量的光子,称为(信号光或者边波)。在参量下转换中,非线性光学晶体通常是二阶非线性晶体,比如 BBO( $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)晶体。当泵浦光经过该晶体时,由于二阶非线性效应,其中的光子会发生双光子的(自发参量下转换)。这个过程中,泵浦光子被转换成一对相互关联的信号光子和边波光。信号光是具有所需频率和偏振的光子,而边波光则拥有相应的频率和偏振来满足(能量)守恒和(动量)守恒。这种过程在能量和动量得到保守的同时,产生了相位匹配条件,使得参量下转换成为可能。参量下转换广泛应用于实验室里的光学研究和应用中。通过参量下转换,可以产生高度纠缠的光子对,用于量子计算、量子通信和量子密钥分发等应用。此外,参量下转换还被用于产生单光子源、量子显微镜、超分辨成像等领域。

