**波粒二象性**

**一、光的电磁理论**

**1．光是一种电磁波**

⑴ 光具有波的特性，在同一介质中光速、波长和频率之间满足：。（请注意分清和这两个易混的字母）

⑵ 在可见光中，各色光频率的大小关系是：。

**2．介质对光速的影响**

⑴ 光在真空中的速度：。

⑵ 光在不同的介质中的速度

由可知，介质的折射率越大，光速越小。

⑶ 不同色光在同一介质中的速度

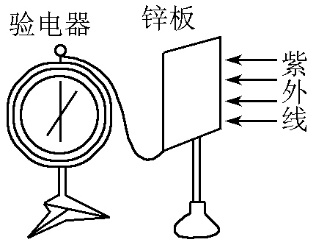
由三棱镜光的色散实验可知，同一介质对紫光的折射率最大，红光的最小。

再由得到，在同一介质中有：。

**二、光的粒子**

**1．光电效应**

如图所示，把一块锌板连接在验电器上，手触锌板使验电器指示归零。用紫外线照射锌板，发现验电器的指针张开。



物理学家赫兹（德国）、勒纳德（德国）、汤姆孙（英国）等相继进行了实验研究，证实了这样一个现象：照射到金属表面的光，能使金属表面的电子从表面逸出。这个现象称为光电效应，这种电子常被称为光电子。

⑴ 光电效应实验规律

① 任何一种金属，都有一个截止频率，也称极限频率。入射光的频率低于截止频率时不发生光电效应。

② 逸出光电子的动能只与入射光的频率有关，而与入射光的强弱无关。入射光的频率越大，逸出光电子的动能就越大。

③ 对于一定颜色的光（），入射光越强，单位时间内发射的光电子数越多。

④ 无论入射光（）怎样微弱，光电效应几乎是瞬时发生的。

⑵ 光电效应与经典电磁理论的冲突

① 按照光的电磁理论，光是电磁波，是变化的电场与变化的磁场的传播。入射光照射到金属上时，金属中的自由电子受变化电场的驱动力作用而做受迫振动，增大入射光的强度，光波的振幅增大，当电子做受迫振动的振幅足够大时，总可以挣脱金属束缚而逸出，成为光电子，不应存在极限频率。

② 按照光的电磁理论，光越强，光子的初动能应该越大。

③ 按照光的电磁理论，光电子的产生需要较长的时间而不是瞬间。

⑶ 光子说

① 在空间传播的光不是连续的，而是一份一份的，每一份叫做一个光子，光子的能量与光的频率成正比，即，其中普朗克常量。

② 光子说对光电效应的解释：

(a) 光子的能量只与光的频率有关，电子吸收到光子的频率越大，获得的能量也就越多。当能量足以使电子摆脱金属的束缚时，它就从金属表面逸出，成为光电子，因而存在一个截止频率。

(b) 根据能量守恒定律，逸出光电子的最大初动能：。

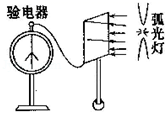
这就是著名的爱因斯坦光电效应方程，为金属的逸出功。

(c) 入射光越强，单位体积内的光子数就越多。光子数越多，单位时间内从金属表面逸出的光电子数也就越多。

(d) 电子一次性吸收光子的全部能量，不需要积累能量的时间，因此光电效应几乎是瞬时发生的。

**典例精讲**

**【例1.1】**（桂林期末）在演示光电效应的实验中，原来不带电的一块锌板与灵敏验电器相连。用弧光灯照射锌板时，验电器的指针就张开一个角度，如图所示，这时（　　）



A．锌板带正电 B．锌板带负电

C．指针不带电 D．锌板有正电子飞出

**【例1.2】**（扬州期末）有一束紫外线照射某金属时不能产生光电效应，可能使金属产生光电效应的措施是（　　）

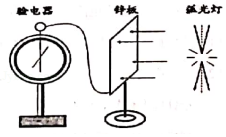
A．改用频率更小的紫外线照射

B．改用光子能量更大的射线照射

C．改用强度更大的原紫外线照射

D．延长原紫外线的照射时间

**【例1.3】**（宝安区期末）如图所示，某实验小组把一验电器与锌板相连，现用一弧光灯照射锌板，发现验电器金属片张开一定的夹角，则（　　）



A．验电器和锌板带同种电荷

B．用X射线照射锌板，验电器金属片不会张开夹角

C．用红外线灯照射锌板，也一定能使验电器张开一定角度

D．用两个相同的弧光灯同时照射锌板产生的光电子最大初动能将变为原来的两倍

**【例1.4】**（广安期末）爱因斯坦提出光是一份一份传播的，每一份叫光量子，简称光子，其能量E＝hν，从而很好地解释了光电效应现象。爱因斯坦光电效应方程是光电效应现象的一个重要方程，它是根据下列哪个定律推导出来的（　　）

A．欧姆定律 B．能量守恒定律

C．库仑定律 D．动量守恒定律

**2．康普顿效应**

⑴ 光的散射

光在介质中与物质微粒相互作用，因而传播方向发生改变，这种现象叫做光的散射。

⑵ 康普顿效应

1918~1922年，美国物理学家康普顿在研究石墨对X射线的散射时，发现在散射的X射线中，除了与入射波长相同的成分外，还有波长大于的成分，这个现象叫做康普顿效应。

康普顿的学生，中国留学生吴有训测试了多种物质对X射线的散射，证实了康普顿效应的普遍性。

⑶ 康普顿效应与经典电磁理论的冲突

按照经典电磁理论，由于光是电磁振动的传播，入射光引起物质内部带电微粒的受迫振动，振动着的带电微粒从入射光吸收能量，并向四周辐射，这就是散射光。散射光的频率应该等于带电粒子受迫振动的频率，也就是入射光的频率，因而散射光的波长与入射光的波长应该相同，不会出现的散射光。经典理论与实验事实又一次出现矛盾。

⑷ 光子模型对康普顿效应的解释

康普顿用光子的模型成功地解释了这种效应。基本思想是：X射线的光子不仅具有能量，也像其他粒子那样具有动量，X射线的光子与晶体中的电子碰撞时要遵守能量守恒和动量守恒定律，求解这些方程，可以得出散射光波长的变化值。理论结果与实验符合得很好。

⑸ 光子的动量：

**典例精讲**

**【例2.1】**（永定区校级月考）下列说法不正确的是（　　）

A．光电效应现象揭示了光的粒子性

B．热中子束射到晶体上产生衍射图样说明中子具有波动性

C．黑体是一种理想化模型，其辐射强度与温度有关，当温度升高时，黑体辐射强度的极大值向波长较短的方向移动

D．在康普顿效应中，当入射光子与晶体中的电子碰撞时，会把一部分动量转移给电子，因此光子散射后波长变短

**【例2.2】**（韩城市期末）下列说法正确的是（　　）

A．爱因斯坦在研究黑体的热辐射问题中提出了能量子假说

B．光电效应、康普顿效应表明光具有粒子性

C．不确定性关系只适用于电子和光子等微观粒子，不适用于其他宏观物体

D．一个放射性原子核发生一次β衰变，它的质子数增加一个，中子数减少一个

**【例2.3】**（陆良县二模）以下说法正确的是（　　）

A．卢瑟福通过α粒子散射实验，提出了原子具有核式结构模型

B．太阳辐射能量来自核聚变，目前采用核电站发电的能量均来自核聚变反应

C．一个氢原子从n＝4的激发态跃迁到基态时，最多能辐射5种不同频率的光子

D．按照玻尔理论，氢原子核外电子从半径较小的轨道迁到半径较大的轨道时，电子的动能减小，原子总能量增大

E．康普顿效应说明光具有粒子性，电子的衍射实验说明粒子具有波动性

**【例2.4】**（启东市校级期中）利用金属晶格（大小约10﹣10m）作为障碍物观察电子的衍射图样，方法是让电子通过电场加速，然后让电子束照射到金属晶格上，从而得到电子的衍射图样。己知电子质量为m、电量为e、初速度为零，加速电压为U，普朗克常量为h，则下列说法中正确的是（　　）

A．该实验说明电子具有波动性

B．实验中电子束的德布罗意波长为λ

C．加速电压U越大，电子的衍射现象越不明显

D．若用相同动能的质子代替电子，衍射现象将更加明显

**三、波粒二象**

**1．光的波粒二象性**

光的干涉、衍射、偏振现象和光的电磁理论，证明光具有波动性；光电效应现象和光子说证明光具有粒子性。无法用其中的一种性质解释所有光现象，所以认定光既有粒子性，又有波动性，即具有波粒二象性。

当研究个别光子的行为时，呈现的是粒子性；当研究大量光子的连续行为时，呈现的是波动性。光的波长越长，其波动性越显著，光的波长越短，其粒子性越显著。

**典例精讲**

**【例1.1】**（天津期末）下列关于光的说法中，正确的是（　　）

A．光有时是波，有时是粒子

B．光电效应表明在一定条件下，光子可以转化为电子

C．光的干涉现象和光的衍射现象说明光具有粒子性

D．光电效应现象说明光具有粒子性

**【例1.2】**（启东市期末）波粒二象性是微观世界的基本特征，以下说法正确的有（　　）

A．黑体辐射的实验规律可用光的波动性解释

B．光电效应现象揭示了光具有粒子性

C．康普顿效应揭示了光具有波动性

D．动能相等的质子和电子，它们的德布罗意波长也相等

**【例1.3】**（迎泽区校级月考）关于光的波粒二象性下列说法正确的是（　　）

A．光子说完全否定了波动说

B．光波频率越高，波动性越明显

C．个别光子易表现出粒子性，大量光子易表现出波动性

D．光的波粒二象性是指光和经典的波和微粒都很相似

**【例1.4】**（孝感期末）手机大多有拍照功能，用来衡量其拍照性能的一个重要的指标就是像素，像素可理解为光子打在光屏上的一个亮点，300万像素的手机拍出的照片比30万像素的手机拍出的等大的照片清晰得多，其原因可以理解为（　　）

A．光具有波粒二象性，大量光子表现出光的波动性

B．光的波动性是大量光子之间的相互作用引起的

C．光是一种粒子，它和物质的作用是一份一份的

D．大量光子表现光具有粒子性

**2．粒子的波动性**

德布罗意考虑到普朗克量子理论和爱因斯坦光子理论的成功，大胆把光的波粒二象性推广到实物粒子，如电子、质子等。他提出假设：实物粒子也具有波动性。

这种与实物粒子相联系的波后来称为德布罗意波，也叫做物质波。

1927年戴维孙和汤姆孙分别利用晶体做了电子束衍射的实验，证实了电子的波动性。

说明：这部分内容深入讲解的话涉及量子力学的知识，高考也极少考察，因此老师根据课堂实际情况简单说明即可。

**随堂练习**

**一．选择题（共10小题）**

1．（凉州区校级期末）关于光电效应的规律，下面说法中正确的是（　　）

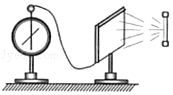
A．当某种色光照射金属表面时，能产生光电效应，则入射光的频率越高，产生的光电子的最大初动能也就越大

B．当某种色光照射金属表面时，能产生光电效应，如果入射光的强度减弱，从光照至金属表面上到发射出光电子之间的时间间隔将明显增加

C．对某金属来说，入射光波长必须大于一极限值，才能产生光电效应

D．同一频率的光照射不同金属，如果都能产生光电效应，则所有金属产生的光电子的最大初动能一定相同

2．（怀柔区模拟）如图所示，把一块不带电的锌板连接在验电器上。当用紫外线照射锌板时，发现验电器指针偏转一定角度，则（　　）



A．锌板带正电，验电器带负电

B．从锌板逸出电子的动能都相等

C．撤去光源，将毛皮摩擦过的橡胶棒与锌板接触，发现验电器指针偏角不变

D．撤去光源，将毛皮摩擦过的橡胶棒与锌板接触，发现验电器指针偏角会变小

3．（郑州期末）关于光电效应，下列说法正确的是（　　）

A．光电效应现象显示了光的波动性

B．照射同种金属，逸出光电子的最大初动能只与入射光的频率有关

C．在光照条件不变的情况下，随着所加电压增加，光电流会一直增加

D．入射光的频率低于截止频率时才会发生光电效应现象

4．（沙雅县校级期中）用某种色光照射到金属表面时，金属表面有光电子飞出，如果光的强度减弱而频率不变，则（　　）

A．光的强度减弱到某一最低数值时，仍有光电子飞出

B．光的强度减弱到某一最低数值时，就没有光电子飞出

C．光电子从金属表面逸出时的最大初动能减小

D．单位时间内飞出的光电子数目不变

5．（诸暨市校级期中）下列关于波粒二象性的说法正确的是（　　）

A．光电效应揭示了光的波动性

B．使光子一个一个地通过单缝，若时间足够长，底片上不会出现衍射图样

C．黑体辐射的实验规律可用光的波动性解释

D．热中子束射到晶体上产生衍射图样说明中子具有波动性

6．（宿迁期末）以下说法中正确的是（　　）

A．电子是实物粒子，运动过程中只能体现粒子性

B．光子的数量越多，传播过程中其粒子性越明显

C．光在传播过程中，只能显现波动性

D．高速飞行的子弹由于德布罗意波长较短，故不会“失准”

7．（信州区校级月考）波粒二象性时微观世界的基本特征，以下说法正确的有（　　）

A．光电效应现象揭示了光的粒子性

B．热中子束射到晶体上产生衍射图样说明中子具有粒子性

C．黑体辐射的实验规律可用光的波动性解释

D．动能相等的质子和电子，它们的德布罗意波长也相等

8．（淮南模拟）下列选项中，说法正确的是（　　）

A．借助于能量子的假说，爱因斯坦得出了黑体辐射的强度按波长分布的公式，与实验符合非常好

B．光电效应现象表明，光具有波动性

C．卢瑟福提出核式结构模型，很好地解释了α粒子散射实验中的现象

D．β射线是高速电子流，它的穿透能力比α射线和γ射线都弱

9．（金州区校级期中）下列说法正确的是（　　）

A．在康普顿效应中，当入射光子与晶体中的电子碰撞时，把一部分能量转移给电子，因此，光子散射后波长变小

B．玻尔的原子结构理论是在卢瑟福核式结构学说上引入了量子理论

C．某原子核经过一次α衰变和两次β衰变后，核内中子数减少2个

D．在黑体辐射中随着温度的升高，一方面各种波长的辐射强度都会增加，另一方面辐射强度的极大值向波长较长的方向移动

10．用X射线照射石墨后，散射出来的X射线的波长（　　）

A．变长 B．变短

C．不变 D．变长变短都用可能出现

**二．多选题（共3小题）**

11．（绍兴模拟）下列说法正确的是（　　）

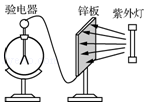
A．“物体的长度”体现了量子化的思想

B．发生光电效应时，增大入射光的强度能增大光电子的最大初动能

C．比结合能越大，表示原子核中核子结合得越牢靠，原子核越稳定

D．能量的耗散从能量转化的角度反映出自然界中宏观过程的方向性

12．（盐城一模）如图所示，用导线将验电器与洁净的锌板连接，触摸锌板使验电器箔片不张开。用紫外线灯照射锌板，验电器箔片张开，移走紫外线灯，用带负电的橡胶棒接触锌板，发现验电器箔片张角减小；改用红外线灯照射锌板，结果发现验电器箔片不张开。则说明（　　）



A．用紫外线灯照射后锌板带正电

B．用红外线灯照射后锌板带负电

C．红外线的频率小于锌的极限频率

D．紫外线的频率小于锌的极限频率

13．（綦江区校级月考）能说明光具有粒子性的实验（　　）

A．α粒子的散射实验 B．光电效应实验

C．电子衍射实验 D．康普顿效应实验

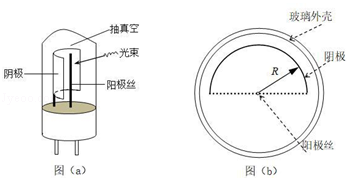
**三．计算题（共2小题）**

14．（绍兴月考）真空光电管（又称电子光电管）由封装于真空管内的光电阴极和阳极丝构成，如图（a）所示是半圆柱面阴极式光电管，阴极材料的逸出功为W，阳极与阴极同轴放置，当频率为v的入射光穿过光窗照到阴极上时，由于光电效应，逸出的电子在电场作用下作加速运动，最后被高电位阳极接收，形成光电流。不计电子重力及电子之间的相互作用。已知元电荷为e，电子质量为m，普朗克常量为h。

（1）给光电管两极加上电压U，求阴极表面逸出的电子的最大初速度vm和到达阳极的电子的最大动能。

（2）图（b）是小明画出的光电管横截面示意图。他撤去光电管两极的电压，在半径为R的半圆平面内加一垂直截面向外的匀强磁场，只考虑电子在截面内的运动。

（Ⅰ）研究发现，要使电子能运动到阳极处，逸出时的速度必须大于5v，求感应强度B值；所加磁场的磁（Ⅱ）进一步研究表明，阴阳两极没有同轴会造成到达阳极的光电子数目不同，小明拿到一个“次品”，其阳极比正常圆心位置向右偏离了，假设光电子且只考虑速度为vm的光电子，从阴极表面均匀逸出，则此情况下到达阳极的光电子数是正常情况的百分之几？（可能用到的三角函数sin37°，sin39°）



15．（洛阳二模）某光电管用金属钠作为阴极金属，已知金属钠的逸出功为2.29eV，现用波长为300nm的光照射金属钠表面，普朗克常量h＝6.63×10﹣34 J•s，真空中的光速c＝3.0×108m/s，电子电荷量e＝1.6×10﹣19 C，1nm＝10﹣9 m，求：

（1）金属钠的截止频率

（2）光电子的最大初动能

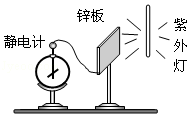
（3）该光电管的遏止电压．（结果均保留两位有效数字）

**四．解答题（共2小题）**

16．（兴庆区校级期末）如图所示，静电计与锌板相连，现用紫外灯照射锌板，关灯后，指针保持一定的偏角。

（1）现用一带负电的金属小球与锌板接触，则静电计指计偏角将　 　（填“增大”、“减小”或“不变”）

（2）使静电计指针回到零，再用相同强度的钠灯发出的黄光照射锌板，静电计指针无偏转。那么，若改用强度更大的红外灯照射锌板，可观察到静电计指针　 　（填“有”或“无”）偏转。



17．（昌平区期末）光电效应和康普顿效应深入地揭示了光的粒子性的一面。前者表明光子具有能量，后者表明光子除了具有能量之外还具有动量。我们知道光子的能量E＝hv，动量P，其中γ为光的频率，h为普朗克常量，λ为光的波长。由于光子具有动量，当光照射到物体表面时，会对物体表面产生持续均匀的压力，这种压力会对物体表面产生压强，这就是“光压”，用I表示。一台发光功率为P0的激光器发出一束频率为γ0的激光，光束的横截面积为S．当该激光束垂直照射到某物体表面时，假设光全部被吸收（即光子的末动量变为0）。求：

a．该激光器在单位时间内发出的光子数N；

b．该激光作用在物体表面时产生的光压I。