**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：。

**典例精讲**

**【例1.1】**（南关区校级月考）光的　　现象和光的　　现象证明光是一种波，光的　　现象证明光是横波。

**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】**（沙雅县校级期中）科学家　　提出光子说，很好地解释了光电效应实验；光电效应说明光具有　　性。

**【例1.2】**（芮城县期末）用图所示的光电管研究光电效应的实验中，用某种频率的单色光a照射光电管阴极K，电流计G的指针发生偏转。而用另一频率的单色光b照射光电管阴极K时，电流计G的指针不发生偏转，那么（　　）



A．a光的频率一定小于b光的频率

B．增加b光的强度可能使电流计G的指针发生偏转

C．用a光照射光电管阴极K时通过电流计G的电流是由d到c

D．只增加a光的强度可使通过电流计G的电流增大

**【例1.3】**（让胡路区校级四模）甲、乙两种金属发生光电效应时，光电子的最大初动能与入射光频率间的关系图象分别如图中的Ⅰ、Ⅱ所示．下列判断正确的是（　　）



A．Ⅰ与Ⅱ不一定平行

B．甲金属的极限频率大

C．图象纵轴截距由入射光强度决定

D．Ⅰ、Ⅱ的斜率是定值，与入射光和金属材料均无关系

**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】**（南昌三模）康普顿效应证实了光子不仅具有能量，也有动量。图中给出了光子与静止电子碰撞后，电子的运动方向，则碰后光子可能沿那个方向运动，波长如何变化（　　）



A．3、变长 B．1、变短 C．1、变长 D．2、不变

**【例2.2】**（海安市校级月考）下列说法中正确的是（　　）

A．黑体辐射时，随着温度的升高，一方面各种波长的辐射强度都有增加，另一方面辐射强度的极大值向频率较小的方向移动

B．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短

C．卢瑟福通过对α粒子散射实验的研究，揭示了原子核的组成

D．各种原子的发射光谱都是线状谱，不同原子的发光频率不一样，因此每种原子都有自己的特征谱线，人们可以通过光谱分析来鉴别物质和确定物质的组成

**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1.2】**（河南月考）在验证光的波粒二象性的实验中，下列说法正确的是（　　）

A．光子通过狭缝的运动路线像水波一样起伏

B．使光子一个一个地通过单缝，如果时间足够长，底片上将会显示衍射图样

C．单个光子通过单缝后，底片上也会出现完整的衍射图样

D．单个光子通过单缝后的运动情况具有随机性，大量光子通过单缝后的运动情况也呈现随机性

**【例1.3】**（徐州期末）从古代光的微粒说，到托马斯•杨和菲涅尔的光的波动说，从麦克斯韦的光的电磁理论，到爱因斯坦的光子理论，人类对光的认识构成了一部科学史诗。如果现在要问光的本性是什么？我们的回答是（　　）

A．大量光子表现出光具有粒子性

B．光是一种粒子，它和物质的作用是一份一份的

C．光的波动性是大量光子之间的相互作用引起的

D．光具有波粒二象性，大量光子表现出光的波动性

**【例1.4】**（成都月考）关于近代物理学，下列说法正确的是（　　）

A．玻尔原子模型能很好地解释氢原子光谱的实验规律

B．电子的衍射现象说明电子具有波动性

C．德布罗意指出微观粒子的动量越大，其对应的波长就越大

D．目前我国核电站的能量来源于轻核聚变

**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．（永安市模拟）下列说法正确的是（　　）

A．汤姆孙发现电子，提出原子的核式结构模型

B．金属的逸出功随入射光的频率增大而增大

C．核力存在于原子核内所有核子之间

D．核子平均结合能越大的原子核越稳定

2．（江苏一模）如图所示为研究光电效应现象的实验，电路中所有元件完好，当光照射到光电管上时，灵敏电流计中没有电流通过，可能的原因是（　　）



A．入射光强度较弱 B．入射光波长太长

C．电源电压太高 D．光照射时间太短

3．（烟台期末）如图所示，在同一实验环境下a、b两光束分别经过同一双缝干涉装置后在距双缝相同距离的光屏上得到的干涉图样，则 （　　）



A．若a光束为绿色光，则b光束可能为红色光

B．在相同条件下，a光束比b光束更容易产生明显的衍射现象

C．照射在同一金属板上发生光电效应时，a光束的饱和电流大

D．两光束都以相同的入射角从水中射向空气时，若b光束在两界面上恰好发生了全反射，则a光束一定发生了全反射

4．（湛江月考）光照射到金属钠表面上产生了光电效应，逸出电子的遏止电压是5.0V，钠的逸出功为2.2eV，此入射光的光子能量为（　　）

A．2.2eV B．2.8eV C．5.0eV D．7.2eV

5．（兴庆区校级一模）关于光电效应，下列说法正确的是（　　）

A．极限频率越大的金属材料逸出功越大

B．只要光照射的时间足够长，任何金属都能产生光电效应

C．从金属表面出来的光电子的最大初动能越大，这种金属的逸出功越小

D．入射光的光强一定时，频率越高，单位时间内逸出的光电子数就越多

6．（合肥校级模拟）爱因斯坦提出了光量子概念并成功地解释光电效应的规律而获得1921年的诺贝尔物理学奖．某种金属逸出光电子的最大初动能Ekm与入射光频率ν的关系如图所示，其中ν0为极限频率．从图中可以确定的是（　　）



A．Ekm与入射光强度成正比

B．图中直线的斜率与普朗克常量有关

C．光电子的逸出功与入射光频率ν无关

D．当ν＜ν0时，无论入射光强度多大都不会逸出光电子

E．当ν＜ν0时，只要入射光强度足够强也会逸出光电子

7．（长治县校级期末）实物粒子和光都具有波粒二象性。下列事实中突出体现实物粒子波动性的是（　　）

A．可见光通过双缝实验装置后可以形成干涉图样

B．β射线在云室中穿过会留下清晰的径迹

C．人们利用电子显微镜观测物质的微观结构

D．光电效应实验中，光电子的最大初动能与入射光的频率有关，与入射光的强度无关

8．（河北期末）近年来，数码相机几乎家喻户晓，用来衡量数码相机性能的一个非常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，现知300万像素的数码相机拍出的照片比30万像素的数码相机拍出的等大的照片清晰得多，其原因可以理解为（　　）

A．大量光子表现光具有粒子性

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．光具有波粒二象性，大量光子表现出光的波动性

9．（忻府区校级期中）关于光的波粒二象性，以下说法中正确的是（　　）

A．光的波动性与机械波，光的粒子性与质点都是等同的

B．光子和质子、电子等是一样的粒子

C．大量光子易显出粒子性，少量光子易显出波动性

D．紫外线、X射线和γ射线中，γ射线的粒子性最强，紫外线的波动性最显著

10．（2009秋•太原月考）光子在介质中和物质微粒相互作用，可使光的传播方向转向任何方向，这种现象叫做光的散射。1922年，美国物理学家家康普顿研究了石墨中的电子对X射线的散射规律，若用λ、λ′表示散射前、后X射线的波长，用λe表示作用后电子的德布罗意波长，则（　　）



A．λ′＞λ，碰撞过程动量守恒，能量不守恒

B．λ′＜λ，碰撞过程能量守恒，动量不守恒

C．λ′＞λ，碰撞过程动量守恒，能量也守恒

D．碰后电子动量为$\frac{ℎ}{λ\_{1}}$，碰撞过程满足$\frac{ℎc}{λ}=\frac{ℎc}{λ'}+\frac{ℎc}{λ\_{e}}$

**二．多选题（共3小题）**

11．（工农区校级月考）下列说法正确的是（　　）

A．用光照射某种金属，有光电子从金属表面逸出，如果光的频率不变，而减弱光的强度，则逸出的光电子数减少，光电子的最大初动能不变

B．X射线的衍射实验，证实了物质波假设是正确的

C．发生光电效应时，光电子的最大初动能与入射光的频率成正比

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

E．速度相等的电子和质子，电子的波长大

12．（凉州区校级期末）关于光子和运动着的电子，下列叙述正确的是（　　）

A．光子和电子一样都是实物粒子

B．光子和电子都能发生衍射现象

C．光子和电子都具有波粒二象性

D．光子具有波粒二象性，而电子只具有粒子性

13．（江西校级三模）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，把一部分动量转移给电子，因此，光子散射后波长变长

B．将放射性元素掺杂到其他稳定元素中，并降低其温度，它的半衰期会改变

C．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

D．氢原子的核外电子从距核较近的轨道跃迁到距核较远轨道的过程中，原子吸收能量，电子的动能减小，原子的电势能增大

E．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

**三．计算题（共2小题）**

14．（香坊区校级期中）用频率为ν的光照射某光电管，发射的光电子的最大初动能为E，若改用频率为2ν的光照射该光电管，则发射的光电子的最大初动能是多少？

15．（长沙校级模拟）光具有波粒二象性，光子的能量hν，其中频率表征波的特性．在爱因斯坦提出光子说之后，法国物理学家德布罗意提出了光子动量p与光波波长的关系为p$=\frac{ℎ}{λ}$．若某激光管以P＝60W的功率发射波长λ＝6.63×10﹣7m的光束，试根据上述理论计算：

（1）该管在1s内发射出多少个光子？

（2）若光束全部被某黑体表面吸收，那么该黑体表面所受到的光束对它的作用力F为多大？

**四．解答题（共2小题）**

16．（东宝区校级学业考试）如图所示是使用光电管的原理图，当频率为v的可见光照射到阴极K上时，电流表中有电流通过．

（1）当变阻器的滑动端P向　 　滑动时（填“左”或“右”），通过电流表的电流将会增大．

（2）当电流表电流刚减小到零时，电压表的读数为U，则光电子的最大初动能为　 　 （已知电子电荷量为e）．

（3）如果不改变入射光的频率，而增加入射光的强度，则光电子的最大初动能将　 　 （填“增加”、“减小”或“不变”）．



17．（甘肃一模）关于光的波粒二象性，下列理解正确的是

A．当光子静止时有粒子性，光子传播时有波动性

B．光时一种宏观粒子，但它按波的方式传播

C．光子在空间各点出现的可能性大小（概率）可以用波动规律来描述

D．大量光子出现的时候表现出波动性，个别光子出现的时候表现出粒子性

E．大量光子出现的时候表现出波动性，个别光子出现的时候表现出粒子性．