# 第四章 原子结构和波粒二象性 复习与提高

## A 组

1．在光电效应实验中，小明用同一光电管在不同实验条件下得到了三条光电流与电压之间的关系曲线（甲、乙、丙），如图4–1所示。回答下面问题，并说明理由。

*O*

*U*c1

*U*c2

*I*

*U*

甲

乙

丙

图 4–1

（1）甲、乙两种光的频率，哪个大？

（2）乙、丙两种光的波长，哪个大？

（3）乙、丙两种光所对应的截止频率，哪个大？

（4）甲、丙两种光所产生光电子的最大初动能，哪个大？

2．一个电子与一个基态氢原子碰撞，刚好使这个氢原子电离。这个电子的动能是多少？

3．有些荧光物质在紫外线照射下会发出可见光，大额钞票的荧光防伪标志就是一例。为什么任何物质都不会在红外线照射下发出可见光？

4．估算运动员跑步时的德布罗意波长，为什么我们观察不到运动员的波动性？

5．钠光谱中两条黄色谱线的波长分别为589.6 nm和589.0 nm。分别计算钠原子辐射这两种波长的光时核外电子跃迁前后的能级差。

6．氢原子光谱中巴耳末系最小波长与最大波长之比为多少？

7．图4–2是研究光电效应的实验装置，某同学进行了如下操作。

（1）用频率为*ν*1的光照射光电管，此时电流表中有电流。调节滑动变阻器，使微安表示数恰好变为0，记下此时电压表的示数*U*1。

（2）用频率为*ν*2的光照射光电管，重复（1）中的步骤，记下电压表的示数*U*2 。

已知电子的电荷量为*e*，请根据以上实验，推导普朗克常量实验测定值的计算式。

图 4–2

A

K

V

μA

P

*O*

a

b

真空

## B 组

1．用同一束单色光，在同一条件下先后照射锌板和银板，都能产生光电效应。在以上两次实验中，对于下列四个物理量，哪些是一定相同的？哪些是可能相同的？哪些是一定不同的？

（1）光子的能量。

（2）光电子的逸出功。

（3）光电子的动能。

（4）光电子的最大动能。

2．大量氢原子处于*n* = 1、2、3、4的四个状态，处于较高能级的原子可以向任意一个较低能级跃迁。这时我们可以观测到几种波长的光（包括不可见光）？最短的波长是多少？

3．已知钠原子在A、B、C、D、E几个能级间跃迁时辐射的光的波长分别为：589 nm（B→ A），330 nm（C→A），285 nm（D→A），514 nm（E →B）。

试作出钠原子在这几个能量范围的能级图。作图时注意，表示能级的横线间的距离和相应能级差成正比，并在线旁以电子伏特为单位标出这个能级的值（设最高能级为0）。

4．一个质子的动能是10 eV，如果有一个电子的德布罗意波长和这个质子的德布罗意波长相等，这个电子的动能是多少？

5．A、B两种光子的能量之比为2∶1，它们都能使某种金属发生光电效应，且所产生的光电子最大初动能分别为*E*A、*E*B。求A、B两种光子的动量之比和该金属的逸出功。

6．人眼对绿光最为敏感，如果每秒有6个绿光的光子射入瞳孔，眼睛就能察觉。现有一个光源以0.1 W的功率均匀地向各个方向发射波长为530 nm的绿光，眼睛最远在多大距离能够看到这个光源？假设瞳孔在暗处的直径为4 mm，且不计空气对光的吸收。

# “复习与提高”参考答案与提示

A 组共 7 道习题。第 1 题要求学生在理解饱和电流、遏止电压、截止频率、逸出功、最大初动能等物理概念的基础上，能读取光电流与电压关系的图像信息，应用爱因斯坦光电效应方程对光电效应实验现象作出解释。第 2 题要求学生能应用玻尔理论结合碰撞中的能量转化与守恒进行分析，以解决实际问题。第 3 题要求学生运用玻尔理论的频率条件解释生活现象，激发学生学习物理的好奇心，进一步理解跃迁假设。第 4 题以学生的生活实践为情境，要求学生会计算德布罗意波长，体会宏观物体的波动性为什么不容易看到。第 5 题要求学生熟练使用频率条件计算钠原子辐射光的能级差。第 6 题通过计算让学生会运用氢原子光谱中的巴尔末公式，理解氢原子光谱特点。第 7 题应用光电效应实验探究普朗克常量的测量方法，旨在培养学生的科学探究素养。

B 组共 6 道习题。第 1 题要求学生熟练运用爱因斯坦光电效应方程解释问题，深入理解光电效应的实验现象。第 2 题要求学生会运用玻尔理论的频率条件进行推理、分析。第 3 题要求学生能类比氢原子的能级跃迁，推出钠原子的能级图，培养学生的科学思维素养。第 4 题进一步考查学生对德布罗意波长公式、动量和动能公式的综合应用。第 5 题要求学生熟练运用爱因斯坦光电效应方程进行定量计算。第 6 题要求学生对光辐射的特点进行建模，结合光子的能量计算，解决实际问题，培养学生的科学思维素养。

## A 组

1．（1）乙光频率较大。

（2）丙光波长较大。

（3）两种光所对应的截止频率一样大。

（4）两种光所产生光电子的最大初动能相同。

提示：（1）光的频率 *ν* 改变时，遏止电压 *U*c 也会改变，由公式 *m*e*v*c2 = *eU*c 和 *E*k = *hν* – *W*0，不同频率的光照射同一种金属，逸出功 *W*0 一定，甲光对应的遏止电压 *U*c2 的大小小于乙光对应的遏止电压 *U*c1，则甲、乙两种光的频率 *ν*甲 < *ν*乙。

（2）由 *c* = *λν*，乙、丙两种光的频率 *ν*乙 > *ν*丙，乙、丙两种光在真空中的速度 *c* 相同，则乙、丙两种光的波长 *λ*乙 < *λ*丙。

（3）截止频率由金属自身的性质决定。乙、丙两种光照射相同金属所对应的截止频率一样大。

（4）由 *E*k = *hν* – *W*0，不同频率的光照射同一种金属，逸出功 *W*0 一定，甲、丙两种光的遏止电压相同，则两种光所产生光电子的最大初动能相同。

2．13.6 eV

提示：基态氢原子具有的能量为 – 13.6 eV。如果电子与基态氢原子碰撞时将所有的动能全部用于基态氢原子的电离，则至少需要 13.6 eV 的能量。

3．空气中红外线的频率比可见光的小，荧光的波长不可能比入射光的波长短，因此，任何物质都不会在红外线照射下发出可见光。

提示：荧光的实质是物质吸收光子的能量跃迁到较高能级，较高能级不稳定又要向低能级跃迁从而放出新的光子。由于第二次跃迁时放出的能量不会大于第一次跃迁时吸收的能量，而空气中红外线的波长比可见光的波长更长，即空气中红外线的频率比可见光的小，所以荧光的波长不可能比入射光的波长短。因此，任何物质都不会在红外线照射下发出可见光。

4．约 1.1×10−36 m；运动员的德布罗意波长远远小于人眼所能看见的可见光的波长范围，所以我们观察不到运动员的波动性。

提示：设运动员质量为 60 kg，速度为 10 m/s，则他的德布罗意波长 *λ* = = m = 1.1×10−36 m，远远小于人眼所能看见的可见光的波长范围，所以我们观察不到运动员的波动性。

5．2.108 eV；2.111 eV

提示：由 Δ*E* = *hν* 和 *ν* = ，得 Δ*E* = 代入题中钠光谱中两种黄色谱线的波长，得 Δ*E*1 = J = 3.373×10−19 J = 2.108 eV；Δ*E*2 = J = 3.377×10−19 J = 2.111 eV。

6．5∶9

提示：由巴耳末公式 = *R*∞，*n* = 3，4，5，…，当 *n* = ∞ 时，最小波长满足 = *R*∞·；当 *n* = 3 时，最大波长满足 = *R*∞。联立以上两式，得 = 。

7．*h* =

提示：开始时电流表的示数大于 0，阴极 K 到阳极 A 之间有光电流。当逸出光电子受到电场的阻碍时，电流表示数才可能为 0。因此，根据电路图，只有当阴极 K 的电势大于阳极 A 的电势，即滑片 P 向 a 端滑动，才能实现电流表示数恰好为 0。根据爱因斯坦光电效应方程 *E*k = *hν* – *W*0 和动能定理 ，有 *E*k1 = *hν*1 – *W*0 = *eU*1 和 *E*k12= *hν*2 – *W*0 = *eU*2。联立以上两式，可得出普朗克常量 *h* = 。

## B 组

1．一定相同的是（1）；可能相同的是（3）；一定不同的是（2）和（4）。

提示：光子的能量由光的频率决定，同一束单色光频率相同，因此光子的能量一定相同；光电子的逸出功等于电子脱离某种金属外界对它做功的最小值，不同的金属，逸出功一定不同；根据题意和爱因斯坦光电效应方程 *E*k = *hν* – *W*0，可知光电子的最大初动能一定不同，但是光电子的动能可能相同。

2．6 种；9.75×10−8 m

提示：处于 *n* = 4 能级的氢原子向较低能级跃迁，并最终跃迁到基态，可能的跃迁共有 4 种情况：4→1、4→3→1、4→2→1、4→3→2→1，能释放 6 种频率的光子，也就是 6 种波长的光。

波长最短的光对应的是氢原子从 *n* = 4 跃迁到 *n* = 1 的情况，故最短波长 *λ* = = m = 9.75×10−8 m

A

B

C

D

E

*E*/eV

0

− 0.1

− 0.7

− 2.4

− 4.5

3．如图 4–2 所示。

提示：根据 Δ*E* = ，可由辐射的光的波长得到几个能级差：*E*B – *E*A = 2.1 eV；*E*C – *E*A = 3.8 eV；*E*D – *E*A = 4.4 eV；*E*E – *E*B = 2.4 eV。

根据以上能级差作能级图。

4．1.84×104 eV

提示：由题意和德布罗意波长计算公式 *λ* = ，可知动量关系 *p*H = *p*e，再根据 *E*k = *mv*2 = = ，可解得该电子的动能 *E*ke = = eV = 1.84×104 eV。

5．2∶1；*E*A − 2*E*B

提示：由 *ε* = *hν* = 和 *p* = *mv* = 可得 A、B 两种光子的动量之比等于 A、B 两种光子的能量之比，则两种光子的动量之比为 2∶1。

设 *hν*A = 2*E*，*hν*B = *E*，由爱因斯坦光电效应方程，有 *E*A = 2*E* – *W*0 和 *E*B = *E* – *W*0。联立以上两式，解得 *W*0 = *E*A − 2*E*B。

6．2.11×105 m

提示：光源每秒发出的光子的个数 *n* = = = （每秒释放的能量 *E* = *Pt*，数值上等于功率 *P* 的大小），每秒光源释放的光子以球面波的形式传播，则以光源为球心的球面上的光子数相同。人眼瞳孔面积 *S* = （*d* 为瞳孔直径），人眼所处的球面的表面积为 *S*0 = 4π*r*²（*r* 为人眼距光源的距离），依题意需 ×*n* ≥ 6，联立以上方程，可解得人眼距光源的最远距离 *r* = 2.11×105 m。