# 第 40 届全国中学生物理竞赛预赛试题

（2023 年 9 月 2 日 9:00-12:00）

考生必读

**1、考生考试前务必认真阅读本须知。**

**2、本试题共 5 页，总分为 400 分。**

**3、需要阅卷老师评阅的内容一定要写在答题纸相应题号后面的空白处；阅卷老师只评阅答题纸上的内容；选择题和填空题也必须在答题纸上作答；写在试题纸和草稿纸上的解答一律无效。**

## 一、选择题（本题 60 分，含 5 小题，每小题 12 分。在每小题给出的 4 个选项中，有的小题只有一项符合题意，有的小题有多项符合题意。将符合题意的选项前面的英文字母写在答题纸对应小题后面的括号内。全部选对的得 12 分，选对但不全的得 6 分，有选错或不答的得 0 分。）

1. 氢原子中基态电子的结合能 *E*H 与氦离子（He+）中基态电子的结合能 *E*He+ 的比值最接近于（ ）

A．1 B． C． D．

1. 一电路如图所示，其中三个电池的电动势之比 *ε*1∶*ε*2∶*ε*3 = 1∶2∶3，三个电阻的阻值之比 *R*1∶*R*2∶*R*3 = 1∶2∶3。导线电阻均忽略不计。流过 *R*1、*R*2、*R*3 的电流大小之比为（ ）

*R*1

*ε*1

*ε*2

*ε*3

*R*3

*R*2

A．1∶1∶2 B．1∶2∶1

C．2∶1∶1 D．1∶2∶3

1. 如图所示，一定量的理想气体经历的三个过程分别如 *p* – *V* 图象中 bca、bda、bea 所示。已知 bca 是绝热过程。下列说法正确的是（ ）

*p*

*V*

*O*

a

e

b

c

d

A．bda 是系统从外界吸热的过程

B．bda 是系统对外界做负功的过程

C．bea 是系统从外界吸热的过程

D．bea 是系统对外界做负功的过程

1. 如图所示，边长为 *a* 的正方形的四个顶点上固定着两个质子 p 和两个正电子 e+。某时刻由静止释放这四个粒子，仅考虑它们在彼此间电场力的作用下运动，不考虑电磁辐射。已知电子电量为 *e*，真空介电常量为 *ε*0。经过足够长的时间后，单个质子、单个正电子的动能最接近的结果分别是（ ）

p

p

e+

e+

A．、 B．、

C．、 D．、

1. 对于一个导体空腔内部电场的场强和电势，下列说法正确的是（ ）

A．电势的值和场强都不受腔外电荷的影响

B．电势的值和场强都会受到腔外电荷的影响

C．场强不受腔外电荷的影响，但电势的值会受到腔外电荷的影响

D．电势的值不受腔外电荷的影响，但场强会受到腔外电荷的影响

## 二、填空题（本题 100 分，每小题 20 分，每空 10 分。请把答案填在答题纸对应题号后面的横线上。只需给出结果，不需写出求得结果的过程。）

1. 国际标准音 A-la 的频率为 *f* = 440 Hz。当发音频率为这个频率的音叉振动时，产生的声波的波长为\_\_\_\_\_\_\_\_cm；一个观测者站在两个这样的音叉之间以 m/s 的速度沿着这两音叉的连线跑向其中某个音叉，同时这两个音叉均振动发声，则该观测者听到的拍频是\_\_\_\_\_\_\_\_Hz。已知声速为 340 m/s。
2. 如图所示，一质量为 2*M* 的小球，以 20.0 m/s 的速率从水平地面上坐标原点 *O* 出射，初速度方向斜向上，与 *x* 轴（水平）正方向的夹角为 。当小球到达最高点时，瞬间炸裂为质量均为 *M* 的两小块 A、B；在小球爆炸后的瞬间，A 的速度与 *x* 轴正方向的夹角为 ，此后，它恰好落到坐标原点 *O*，整个运动过程均在 *xOy* 平面内。由此可知，A 在爆炸后的瞬间的速率为\_\_\_\_\_\_\_\_\_m/s，B 落到地面时的 *x* 坐标为\_\_\_\_\_\_\_\_m。保留三位有效数字，不计空气阻力，重力加速度大小为 9.80 m/s2。

*y*

*x*

*O*

A

B

*v*

1. 如图所示，初始时在水平地面上静止的密闭车厢内的空气中悬浮一个充满氦气的气球 A，它通过柔软长轻绳固定在车厢底板上，绳长远大于气球半径。若车厢沿水平方向从静止开始以大小为 （*g* 为重力加速度大小）的加速度做匀加速直线运动，则气球的位置相对于车厢稳定后，拉气球的轻绳将沿车厢运动方向\_\_\_\_\_\_\_\_（填“前倾”、“后仰”或“保持竖直向上”），且轻绳相对于竖直向上方向的夹角大小为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

*y*

*x*

A

1. 如图所示，在凸透镜右侧距离 *L* = 4 cm（*L* 大于凸透镜的焦距）处放置一块垂直于光轴的平面镜。某同学在凸透镜左侧光轴上放置一点光源 S，当将 S 沿着光轴左右移动有限距离时，发现存在两个特殊的位置，可使得每个位置上的点光源 S 与它的像点重合。测得这两个特殊位置之间的间距为 9 cm。该凸透镜的焦距为\_\_\_\_\_\_\_cm，两个特殊位置中离透镜较远的那一点与透镜光心相距\_\_\_\_\_\_\_\_cm。

*L*

1. 气体分子的平均热运动动能约为 *k*B*T*，其中 *T* 是气体的绝对温度，*k*B = 1.38×10−23 J/K 为玻尔兹曼常量。一般而言，如果气体中粒子的物质波波长接近于粒子平均间距，则粒子的量子效应就会变得显著。考虑粒子数密度 *n* = 8×1022 cm−3 的气体。若该气体为金属中的自由电子气，则其温度在\_\_\_\_\_\_\_K 以下时量子效应显著；若假想该气体由氢原子组成，则其温度在\_\_\_\_\_\_\_K 以下时量子效应显著。已知电子质量约为 9.11×10−31 kg，质子质量约为 1.67×10−27 kg，普朗克常量约为 6.626×10−34 J·s。（结果保留一位有效数字）

## 三、计算题（本题 240 分，共 6 小题，每小题 40 分。计算题的解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤，只写出最后结果的不能得分。有数值计算的，答案中必须明确写出数值，有单位的必须写出单位。）

1. （40分）如图 a 和图 b，在光滑的水平面上建立 *xOy* 直角坐标系。A、B、C 三个小球（视为质点）质量均为 *m*。初始时小球均静止，C、B 连线沿 *x* 方向，间距为 *L*；A、B 用长为 *L*、不可伸长、完全没有弹性的柔软轻绳连接，B、A 连线方向与 C、B 连线方向垂直，A 与 B、C 连线的距离为 0.6*L*。现使 A 以大小为 *v*0 的速率沿 *x* 轴正方向运动。试在下述两种情形下，求在 A、B 间软绳刚刚被拉紧后的瞬间 A、B、C 三球各自的速度：

*y*

*x*

*O*

C

B

A(初始)

A

*L*

*L*

*θ*

（a）

*y*

*x*

*O*

C

B

A(初始)

A

*L*

*L*

*θ*

（b）

（1）B、C 间由原长为 *L*、劲度系数为 *k* 的轻质弹簧连接（见图 a）；

（2）B、C 间由长度为 *L* 的柔软轻绳（材质跟 A、B 间的软绳相同）连接（见图 b）。

1. （40分）已知重力加速度大小为 *g*。假设空气阻力可忽略。

（1）将一个质量为 *m*2 的小球 B 放在一个质量为 *m*1 的大球 A 的上表面上，初始时 A 的下底离地面高度为 *h*0，如图 a 所示；现让它们同时从静止开始自由下落，当 A 的下端落到水平硬地（硬地质量 *m*0 ≫ *m*1）上之后，可发现 B 反弹上升的最大高度 *h* 比 *h*0 大许多倍。不考虑运动相对于竖直方向的偏离，忽略大、小球的线度。假设地面与 A、A 与 B 之间的碰撞依次发生，且两两间碰撞的恢复系数都相等，求此恢复系数 *e*。

A

B

C

D

图（b）

B

硬地

B

A

*h*

*h*0

A

图（a）

（2）如图 b，一个儿童玩具由一组大小和质量各不相同的小球 A、B、C 和 D 组成，其中 A 上面固定有一根圆柱形光滑细轻杆，其余 3 个小球都有过其中心的一个圆柱形孔道，孔道的直径略大于细杆的直径。将 B、C 和 D 依次穿在细杆上，将个小球构成的体系移至一定高度后，使之由静止开始下落，已知下落过程中杆始终处于竖直状态。A、B、C 和 D 的质量分别为 *m*1、*m*2、*m*3 和 *m*4，设地面与 A、A 与 B、B 与 C、C 与 D 之间的碰撞依次发生，相碰的两两物体间的恢复系数均相等，*h*0 为系统初始下落高度，*h* 为 D 弹起后上升的最大高度，忽略各球的线度。求恢复系数 *e* 的表达式；并根据下表给出的数据，求恢复系数 *e* 的数值。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *m*1（g） | *m*2（g） | *m*3（g） | *m*4（g） | *h* / *h*0 |
| 76.7 | 32.5 | 11.3 | 5.80 | 11.2 |

（3）若恢复系数 *e* 取第（2）问求得的数值，*m*1、*m*4 取表中的数值。当 *m*2 与 *m*3 取何值时，可使达 *h*0 到最大值？该最大值是多少？

1. （40 分）一厚度可忽略的球形肥皂泡，其外表面上均匀带电，当半径为 1.0 mm 时，其电势为 100 V（取无穷远处的电势为零）；此时，肥皂泡并未处于力学平衡状态。当其半径增大至 1.0 cm 时，肥皂泡达到力学平衡状态，且此时肥皂泡内外气压恰好相等。静电力常量 *k*e = = 9.0×109 N·m2/C2，不考虑重力作用。求（结果保留两位有效数字）：

（1）肥皂泡所带电荷的种类及电荷量；

（2）肥皂泡膨胀前后的静电能的变化（已知半径为 *r*、带电量为 *Q* 的均匀带电球面的静电能为 ）；

（3）肥皂泡表面张力系数的大小。

1. （40分）一厚度为 *h* 的均质金属圆盘在半径为 *r* ± 的两圆环面之间的部分，被镂空成均匀分布的薄金属片，薄金属片长为 *a*（沿径向），宽为 *h*（垂直于盘面），厚为 *d*（沿圆环切向），在离盘心 *r* 处相邻的两薄金属片间距为 *b*，其俯视示意图如图 a 所示。金属电阻率为 *ρ*，且 *r* ≫ *a* ≫ *b* ≫ *d*（金属圆盘在半径为 *r* ± 的两圆环面之外的两部分完全看作为理想导体）。在圆盘中心垂直圆盘方向上设置转轴，盘面上离转轴 *r* 处，面积为 *a*2 的小方块（其相对的两弧或对边中点连线长均为 *a*，且相对的两弧中点的连线通过盘心）内施加垂直于盘面的匀强磁场 *B*，如图 b 所示，小方块外面的磁场可忽略。假设 恰好为整数。当圆盘以角速度 *ω* 转动时，求

图（a）

*r*

*b*

*d*

*a*

局部放大示意图

*ω*

*r*

*a*

*a*

图（b）

（1）小方块上产生的电动势；

（2）小方块内金属片的总电阻的严格表达式（用 *h*、*b*、*d*、*ρ* 表出）；

（3）小方块外金属片的总电阻的严格表达式（用 *r*、*a*、*h*、*b*、*d*、*ρ* 表出）；

（4）通过小方块的电流的表达式（用 *r*、*a*、*h*、*b*、*d*、*ρ*、*B*、*ω* 表出）；

（5）相对于圆盘转轴，阻碍圆盘转动的电磁力矩（用 *r*、*a*、*h*、*b*、*d*、*ρ*、*B*、*ω* 表出）。

1. （40分）真空中有一个锌质小球，半径 *R* = 1.0 cm，远离其它物体。使锌球初始时带一定量的负电荷，其电势 *φ*0 = − 0.50 V（取无穷远处的电势为零）。某时刻开始，用波长 *λ* = 290 nm 的紫外线照射锌球；假设光强足够弱，以至于单位时间逸出的光电子很少。

（1）求光电子从锌球逸出时的最大运动速度；

（2）开始时以最大速率从锌球逸出的电子，运动到离锌球无穷远处时的速度大小为多少？

（3）计算用紫外线连续照射锌球足够长的时间之后，锌球的电势 *φ*1 是多少？

（4）从开始照射到足够长的时间后，整个照射过程中从锌球跑出的光电子的数目大约是多少？

已知：锌的截止波长 *λ*c = 332 nm，真空中的光速 *c* = 3.0×108 m/s，普朗克常量 *h* = 6.63×10−34 J·s，真空介电常量 *ε*0 = 8.85×10−12 C2/（N·m2），电子电量 *e* = − 1.60×10−19 C，电子质量 *m*e = 9.11×10−31 kg ≈ 0.511 MeV/c2。

1. （40分）如图 a，将焦距为 *f* = 10.00 cm、半径为 *r*3 = 2.001 cm 的薄透镜从正中间切割出一个半径为 *r*2 = 1.497 cm 的圆形小透镜；切割出的小透镜通过打磨其边缘将其半径缩小为 *r*1 = 1.390 cm。如图 b（剖面示意图）所示，将切割出来的小透镜沿着光轴向右平移一小段距离 *d* = 2.000 cm；光轴上一个点光源 S 位于大透镜左侧，与大透镜距离为 *s* = 15.00 cm，S 发出波长为 *λ* = 500.0 nm 的单色光，在透镜右侧出现 S 的两个像点 S1′ 和 S2′；在大透镜右侧距离为 *B* = 50.00 cm 处有一垂直于光轴的屏幕，光轴与屏幕交点为 O；点光源 S 发出的光在屏幕上形成干涉条纹。

光轴

*r*1

*r*2

*r*3

图（a）

光轴

*r*1

*r*2

*r*3

S

S1′

S2′

*d*

*s*

*B*

*L*

O

\*

\*

\*

*D*

图（b）

（1）求 S 的两个像点 S1′ 和 S2′ 之间的距离 *D*，以及像点 S1′ 到屏幕的距离 *L*。

（2）描述屏幕上能够观测到干涉条纹的区域的形状，并计算该区域的范围。

（3）描述上述区域范围内干涉条纹的形状，导出第 *k* 级亮纹在屏幕上的位置公式；总共能看到多少条亮纹？

提示：由于透镜尺寸很小，使得屏幕上干涉区域内的点到 O 点距离远小于两个像点 S1′ 和 S2′ 到 O 点的距离。计算中可利用近似展开式，即当 *x* ≪ 1时，有 ≈ 1 + 。

# 第 40 届全国中学生物理竞赛预赛试题解答及评分标准

## 一、选择题（本题 60 分，含 5 小题，每小题 12 分。在每小题给出的 4 个选项中，有的小题只有一项符合题意，有的小题有多项符合题意。将符合题意的选项前面的英文字母写在答题纸对应小题后面的括号内。全部选对的得 12 分，选对但不全的得 6 分，有选错或不答的得 0 分。）

1．D 2．B 3．ABD 4．A 5．C

## 二、填空题（本题 100 分，每小题 20 分，每空 10 分。请把答案填在答题纸对应题号后面的横线上。只需给出结果，不需写出求得结果的过程。）

6．×100 或 77.3，8 7．9.63，50.0 8．前倾，arctan或 26.6°

9．3，12 10．2×105，1×102

## 三、计算题（本题 240 分，共 6 小题，每小题 40 分。计算题的解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤,只写出最后结果的不能得分。有数值计算的,答案中必须明确写出数值，有单位的必须写出单位。）

11．

（1）在 A、B 间的软绳刚刚被拉紧后的瞬间，B、C 间的轻质弹簧无形变，故小球 C 的速度为 0

  ①

在 A、B 间的软绳刚刚被拉紧后的瞬间，连接小球 A、B 的软绳与 *x* 轴的夹角为 *θ*，小球 B 所受到的来自软绳的作用力沿拉直的绳的方向，因此，在此瞬间 B 的速度沿着软绳指向 A 的方向，即此时 B 的速度为

， ②

式中分别为 *x、y* 坐标轴的方向，是的大小。设此时 A 的速度为

， ③

A、B 构成的体系在绳被拉紧的过程中动量守恒，有

  ④

  ⑤

由于轻绳柔软（完全无弹性）且不可伸长，在绳刚刚被拉紧后的瞬间 A 相对于 B 的相对运动速度必然垂直于 AB 连线，且沿顺时针旋转方向，即

  ⑥

  ⑦

联立①④⑤⑥⑦式，解得

 ⑧

 ⑨

由⑧⑨式和题给数据得

***v***A = *v*0(0.68$\hat{x}$ – 0.24$\hat{y}$) ⑩

***v***B = *v*0(0.32$\hat{x}$ + 0.24$\hat{y}$) ⑪

【解法2：在A、B间的软绳刚刚被拉紧后的瞬间，B、C间的轻质弹簧无形变，故小球C的速度为0

*y*

*x*

*O*

C

B

A(初始)

A

*L*

*L*

*θ*

（a）

∥

⊥

  ①

如题解图11a，在绳刚刚被拉紧后的瞬间，将A的初速度按垂直于连线方向“”和平行于连线方向“”进行分解

 ②’

其中

 ③’

由轻绳约束条件，在A、B间的软绳刚刚被拉紧后的瞬间

 ④’

再由A、B间的动量守恒得

 ⑤’

 ⑥’

于是

 ⑦’

 ⑧’

其中，和分别为平行“”和垂直“”方向的方向向量。于是有

 ⑨’

 ⑩’】

【附注：其中平行“”和垂直“”方向的方向向量为



综上，有





】

（2）在 A、B 间的柔软轻绳刚刚被拉紧时，B、C 间的柔软轻绳处于沿 *x* 方向伸直的拉紧状态，小球 C 所受到的来自软绳的作用力指向 A，故 C 只可能沿正 *x* 方向运动，可设

 ，

另设碰后瞬间A、B速度分别为

 

 

A、B、C构成的体系在绳被拉紧前与刚刚拉紧后的总动量守恒，有

， ⑫

； ⑬

由于B、C间的柔软轻绳不可伸长，在B、C间的柔软轻绳被拉紧时，B相对于C的相对运动速度沿正*y*方向，即

 ⑭

在此时瞬间A相对于B的相对运动速度垂直于此时AB连线，且沿顺时针旋转方向，即

 ⑮

 ⑯

因为A所受冲量只沿AB连线方向，故A在垂直于AB连线方向的速度分量在绳被拉紧前后没有变化，由AB连线方向的动量定理得

 ⑰

联立⑫⑬⑭⑮⑯⑰式，得

***v***A = *v*0($\hat{x}$ – $\hat{y}$) ⑱

***v***B = *v*0($\hat{x}$ + $\hat{y}$) ⑲

***v***C = *v*0$\hat{x}$ ⑳

评分标准：本题40分。

第（1）小问22分，①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪式各2分；

【解法2】：①②’③’④’ 式各2分，⑤’式4分，⑥’⑦’⑧’⑨’⑩’式各2分；

第（2）小问18分，⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳式各2分。

12．

（1）先考虑一般情况。设质量为、速度为的小球1和质量为、速度的小球2发生对心碰撞，碰撞后小球1和2的速度分别为和，由动量守恒有

  ①

碰撞的恢复系数为

  ②

由①②式得

  ③

 考虑由大球（质量为）与小球（质量为）组成的系统，系统落地速度为

  ④

在以速度向下运动的参考系中，碰撞前两球*m*1、*m*2都处于静止状态，而地球（*m*0）以速度向上与最下面的大球（）碰撞，利用公式③，碰撞后小球（）的速度为

  ⑤

然后大球（）与小球（）之间发生碰撞，再利用公式③，碰撞后小球（）的速度为

  ⑥

考虑到*m*0>>*m*1，有

  ⑦

且地球与大球碰后地球速度近似不变，于是小球（）相对于地面的速度为

  ⑧

小球（）上升的高度（相对于地面）为

  ⑨

 由⑨式得

*e* = − 1 ⑩

（2）系统落地时的速度

 

在以速度竖直向下运动的惯性系中，碰撞前，4个小球都处于静止状态，而地球（）以速度竖直向上运动，与最下面的小球碰撞，然后依次引起小球之间的3次碰撞。开始两次碰撞后小球（）的速度仍为⑥式所示。依次类推，最上面小球(*m*4)的碰撞后速度为

  ⑪

考虑有

  ⑫

且地球与大球碰后地球速度近似不变，故最上面小球(*m*4)相对于地面的速度

  ⑬

最上面小球(*m*4)竖直升的高度

  ⑭

由此可得

  ⑮

由⑮式和题给数据得，恢复系数的数值为

 *e* = 0.885 ⑯

（3）只需求

 

达到最大值的条件。进而，

  ⑰

式中等号仅在

 

时成立。即在*m*4与*m*1保持不变的条件下，当

*m*2 = ≈ 32.4 g，*m*3 = ≈ 13.7 g ⑱

可以使 *h*/*h*0 达到最大值。

这里应用了下述不等式：

对于任意正数，有

 

式中等号当且仅当

 

时成立。

【附注：

上述不等式可以简单证明如下：

不妨设分别是中最大数、最小数。可令

 ，

式中，且

 

于是

 

式中等号当且仅当或（等价的）

 

时成立。】

由⑰式知，的极大值为

 

这时，

 ≈11.4 ⑲

由⑲式和题給数据得

  ⑳

评分标准：本题40分。

第（1）小问20分，①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩式各2分；

第（2）小问12分，⑪⑫⑬⑭⑮⑯式各2分。

第（3）小问8分，⑰⑱⑲⑳式各2分。

13．

（1）半径为*r*、总电量为*Q*的均匀带电球壳的表面电势由下式给出

 ①

其中*ε*0为真空介电常量。记肥皂泡初始半径为*，*得

 ②

代入题给数据得

*Q* = 1.1×10−11 C ③

可知肥皂泡带正电。

（2）记肥皂泡变大后的半径为，由题给公式得，肥皂泡变大前后静电势能变化为

 ④

由③④式和题给数据得

Δ*W*e = − 5.0×10−10 J ⑤

（3）由于球面上电荷元会受到其他部分电荷的静电力，故会产生向外的压强，记为。假设球面从半径变为半径，此过程中压强所做的功为

  ⑥

由题给公式可知以上过程中肥皂泡静电势能变化为

  ⑦

而保守力做功等于势能的减少量，即

  ⑧

肥皂泡的表面张力产生的压强与表面张力系数*σ*的关系为

 ⑨

忽略肥皂泡内外气压差，则平衡时表面张力产生的压强与静电力产生的压强相等，故

 ⑩

联立⑥⑦⑧⑨⑩式得

 ⑪

代入题给数据得

*σ* = 1.1×10−8 N/m ⑫

【解法2：

当肥皂泡达到平衡时，体系的总势能（电荷的势能与表面张力的势能的和）达到最小。

半径为*r*的肥皂泡的表面张力产生的压强与表面张力系数*σ*的关系为

 ⑥’

因此表面张力所对应的势能为

  ⑦’

其中为任意常数。结合题给电势能公式，可知总势能为

 ⑧’

由平衡条件可知

 ⑨’

解得

 ⑩’

代入题给数据得

*σ* = 1.1×10−8 N/m ⑪’ 】

评分标准：本题40分。

第（1）小问8分，①式4分，②③式各2分；

第（2）小问8分，④⑤各式4分；

第（3）小问24分，⑥⑦⑧⑨⑩式各4分，⑪⑫式各2分。

【解法2】：⑥’⑦’⑧’⑨’⑩’ ⑪’ 各4分。

14．

（1）在小方块内金属片的运动速度大小为

  ①

方向沿矢经末端切向。它们切割磁力线产生的电动势近似为

  ②

该电动势沿径向。由①②式得

 *ε* = *Baωr* ③

（2）记小方块内金属片的总电阻为。每片金属片的电阻为

  ④

小方块内金属片的数目为

  ⑤

由④⑤式得，

 *R*内 = *R* = = ⑥

（3）记小方块外金属片的总电阻为。由于密集的金属片在圆环上均匀分布，是正整数。小方块外金属片的数目为

  ⑦

由④⑦式得，小方块外金属片的总电阻为

 *R*外 = = ⑧

（4）记通过小方块的电流为。由欧姆定律，通过小方块的电流为

  ⑨

由③⑥⑧⑨式得

 *I* = = = ⑩

（5）小方块内所有金属片所受到的总安培力为

  ⑪

方向沿与圆盘上的金属片垂直。该安培力对圆盘的阻力矩近似为

  ⑫

由⑩⑪⑫式得，相对于圆盘转轴，阻碍圆盘转动的电磁力矩为

 *M* = *rIaB* = ⑬

评分标准：本题40分。

第（1）小问10分，①②式各4分，③式2分；

第（2）小问8分，④式4分，⑤⑥式各2分；

第（3）小问4分，⑦⑧式各2分；

第（4）小问8分，⑨式4分，⑩式4分（写成近似表达式也同样给分）；

第（5）小问10分，⑪⑫式各4分，⑬式2分（写成近似表达式也同样给分）。

15．

（1）锌的逸出功

  ①

式中是相应的截止频率。电子的最大初动能

  ②

由于

  ③

式中是光电子从锌球逸出时的最大运动速度。由①②③式及题给数据得

 *v* = = 4.37×105 m/s ④

（2）电子从锌球附近运动到无穷远，由能量守恒有

  ⑤

式中以最大速率从锌球逸出的电子运动到离锌球无穷远处时的速度。由⑤式及题给数据得

 *v*2 = = 6.05×105 m/s ⑥

（3）照射时间足够长，逸出的电子足够多，以至于锌球带正电，其电势满足

  ⑦

由⑦式及题给数据得

 *φ*1 = = + 0.54 V ⑧

（4）带有电荷量为的锌球的电势

  ⑨

由⑨式得

  ⑩

设整个照射过程中从锌球跑出的光电子的数目为，则

  ⑪

由⑩⑪式得

  ⑫

由⑫式及题给数据得

 *N* = 4π*ε*0 = 7.2×106 ⑬

评分标准：本题40分。

第（1）小问14分，①②式各4分，③式2分，④式4分；

第（2）小问8分，⑤⑥式各4分；

第（3）小问8分，⑦⑧式各4分；

第（4）小问10分，⑨⑩⑪⑫⑬式各2分。

16．

（1）根据薄透镜成像公式有

  ①

  ②

由①②式和题给数据有

  ③

于是

 *D* = *s*1′ − *s*2′ − *d* = 3.714 cm，*L* = *B* – *s*1′ = 20.00 cm ④

（2）如解题图16a，在以点为圆心的环带区域（图中用粗实线段标出）内有干涉条纹，且

  ⑤

  ⑥

  ⑦

由于

 

干涉条纹应分布在屏幕上点之间的环带区域（以O点为中心），该环形区域中的点与点之间的距离满足

解题图16a.



















光轴

解题图16b.

光轴

 .













0.9980 cm ≤ *h*P ≤ 1.334 cm ⑧

（3）如解题图16b，两条光路的光程差为

  ⑨

亮纹半径应满足

 ， ⑩

从而有

  ⑪

干涉条纹是以光轴和屏幕交点为圆心的一系列同心圆环(仅存在于(2)中给出的区域中)，第*k*级明环的半径为

  ⑫

其中

  ⑬

  ⑭

能观测到的亮纹条数为

 *N* = *k*2 – *k*1 + 1 = 62 ⑮

**附注：（傍轴近似公式的误差分析）**

如果计算条纹级数*k*时不用傍轴近似，而用严格公式，我们有





可以看到，与严格结果相比，使用傍轴近似公式对条纹级数*k*进行计算时，相对误差小于0.003，绝对误差小于0.4，不会影响最终结果。

评分标准：本题40分。

第（1）小问12分，①②式各4分，③④式各2分；

第（2）小问12分，⑤式2分，⑥⑦式各4分，⑧式2分；

第（3）小问16分，⑨式4分，⑩⑪⑫⑬⑭⑮式各2分。