逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

2020年普通高等学校招生全国统一考试（江苏卷）物理

参考答案与详解（本站独立编撰）

江苏卷物理 · 5 单选 + 4 多选 + 2 实验 + 2 选做 + 3 计算 · 120 分

本册答案与解析由逐光知理物理教研组独立编撰，全部推理与计算均基于原卷题面条件独立完成，供学习参考。

答案速查

1 **C**	2 **D**	3 **B**	4 **A**	5 **C**	6 **ABD**
7 **CD**	8 **AD**	9 **AB**			

题号	主考点	答案摘要
10	测绘非线性元件的伏安特性曲线	（1）连线见解析（2）图线见解析（3）非线性（4）AB
11	利用手机视频测重力加速度	（1）小钢球（2）①③④②⑤（3）9.7（4）仍能
12	黑体辐射、氢原子能级与动量守恒	（1）B（2）$\frac{hc}{\lambda_2}$；$\frac{h}{\lambda_1}$（3）28 m/s
13A	选修3-3：非晶体、饱和汽与理想气体状态变化	（1）A（2）有；增大（3）$Q=2\times10^5$ J
13B	选修3-4：电磁波应用、全反射与电磁波测厚	（1）AB（2）大；1.5（3）$d=\frac{f\lambda\Delta t}{2}$
14	线框穿越磁场的电磁感应与能量转化	（1）$E=0.8$ V（2）$F=0.8$ N（3）$Q=0.32$ J
15	圆周运动、杆的作用力与机械能守恒	（1）$v=2\omega R$（2）$F=m\sqrt{g^2+4\omega^4R^2}$（3）$h=\frac{\omega^2R^2(M+16m)}{2Mg}$
16	带电粒子在两匀强磁场边界处的圆周运动	（1）$d=\frac{mv}{3qB_0}$（2）$\Delta t=\frac{2\pi m}{qB_0}$（3）$\frac{q'}{m'}$ 的最小值为 $\frac{q}{m}$

一、单项选择题

1. 选择题 · 3分

答案 C

详解

A. × 90W

90 W 远小于阻力功率 fv。若功率仅 90 W，牵引力 $F=P/v=90/20=4.5$ N，远小于阻力 1.8×10^3 N，汽车不可能匀速行驶，排除。

B. × 30kW

若 $P = 30\ \text{kW}$，则牵引力 $F = P/v = 3.0 \times 10^4/20 = 1.5 \times 10^3\ \text{N} < f = 1.8 \times 10^3\ \text{N}$，汽车将减速，与匀速行驶矛盾，排除。

C. √ 36kW

匀速行驶时牵引力等于阻力 $F = f = 1.8 \times 10^3\ \text{N}$，实际功率 $P = Fv = 1.8 \times 10^3 \times 20 = 3.6 \times 10^4\ \text{W} = 36\ \text{kW}$，正确。

D. × 300kW

若 $P = 300\ \text{kW}$，牵引力达 $1.5 \times 10^4\ \text{N}$，远大于阻力，汽车将加速，与匀速矛盾，排除。

匀速行驶时牵引力大小等于阻力，实际功率用 $P = Fv$ 计算，注意单位换算。

2. 选择题 · 3分

答案 D

详解

A. × 是一种降压变压器

互感器原线圈匝数少、副线圈匝数多，由 $U_1/U_2 = n_1/n_2$ 知副线圈电压更高，是升压（降流）变压器，其作用是把大电流变为小电流以便测量，A 错。

B. × 能测量直流电路的电流

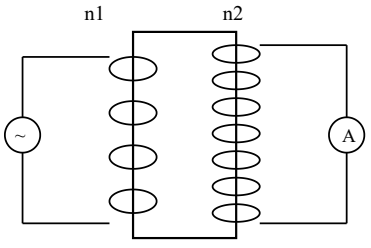
变压器依靠变化的磁通量工作，恒定直流产生恒定磁场，副线圈中无感应电动势，无法测量直流，B 错。

C. × 原、副线圈电流的频率不同

变压器只改变电压、电流，不改变交变电流的频率，原、副线圈电流频率相同，C 错。

D. √ 副线圈的电流小于原线圈的电流

理想变压器 $I_1/I_2 = n_2/n_1$，副线圈匝数 $n_2 > n_1$，故 $I_2 < I_1$，副线圈电流小于原线圈电流，这正是用小量程电流表测大电流的原理，D 对。



Q2: current transformer, primary with few turns in the line, secondary with many turns connected to ammeter A

3. 选择题 · 3分

> **答案** B

详解

A. × 同时增大 B_1、减小 B_2

图中上半圆 B_1 方向垂直纸面向里，下半圆 B_2 方向垂直纸面向外，两半面积相等、磁感应强度大小相等，合磁通为零。B_1 增大、B_2 减小时，合磁通向里增大，由楞次定律感应磁场应向外，由右手螺旋定则感应电流为逆时针，不符合。

B. √ 同时减小 B_1、增大 B_2

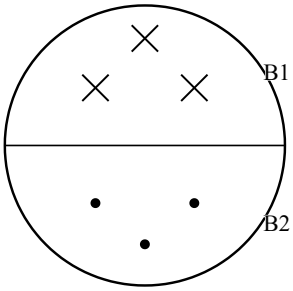
向里磁通减小、向外磁通增大，合磁通向外增大，感应磁场方向向里，由右手螺旋定则环中产生顺时针方向感应电流，符合题意。

C. × 同时以相同的变化率增大 B_1 和 B_2

两半圆磁通变化等大反向（一个向里增、一个向外增），合磁通变化率始终为零，环中无感应电流，不符合。

D. × 同时以相同的变化率减小 B_1 和 B_2

同理，合磁通变化率始终为零，无感应电流，不符合。



Q3: metal ring, upper half field B1 into the page, lower half field B2 out of the page

4. 选择题 · 3分

> **答案** A

详解

A. √ 两段均为直线、先增后减

斜面下滑段由动能定理 $E_k = (mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta)x$，随 x 线性增大；水平段 $E_k = E_{k0} - \mu mg\,x'$，随 x 线性减小。整条图线由两段直线组成、先增后减，与 A 图形状一致，正确。

B. × 上升段为曲线

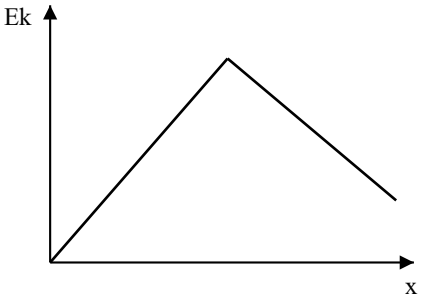
斜面段合外力 $mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta$ 为恒力，E_k 随 x 只能线性增大，不可能出现上凹曲线段，B 错。

C. × 下降段为曲线

水平段摩擦力 μmg 恒定，E_k 随 x 线性减小，不可能出现缓变的曲线尾段，C 错。

D. × 出现尖峰式曲线

两段均受恒力作用、图线斜率各自恒定，衔接处斜率突变但不存在曲线尖峰，D 错。



Q4: Ek versus x, rising straight segment on the incline then falling straight segment on the ground

斜面与水平段 E_k 都随水平位移线性变化，图象必由两段直线组成。

5. 选择题 · 3分

答案 C

详解

A. × F

F 是第 2 节拉第 3 节的力，要拖动后面 38 节车厢，远大于只拖 2 节车厢所需的力，排除。

B. × $\dfrac{19F}{20}$

该值接近 F，而倒数第 3 节只需拖动 2 节车厢，所需牵引力应远小于 F，排除。

C. √ $\dfrac{F}{19}$

对整列车：$F_{牵}-40f=40ma$；对第 2 节：$F-f=38ma$，即每节车厢需要的"净力"为 $f+ma=F/38$。倒数第 3 节对倒数第 2 节的牵引力拖动最后 2 节：$F'=2(f+ma)=\dfrac{2F}{38}=\dfrac{F}{19}$，正确。

D. × $\dfrac{F}{20}$

按 40 节平均得到的比例，但牵引力只与被拖动的车厢数（2 节）对应，应为 $2(f+ma)=F/19$ 而非 $F/20$，排除。

关键是求出"每节车厢分摊的净力" $f+ma=F/38$，再乘以被拖车厢节数。

二、多项选择题

6. 选择题 · 4分

答案 ABD

详解

A. √ 车灯的电流变小

启动电机是低电阻大电流负载，S 闭合后干路电流剧增，内电压 Ir 增大，路端电压 $U=E-Ir$ 减小，车灯两端电压减小，由 $I_L=U/R_L$ 知车灯电流变小，故车灯变暗，A 对。

B. √ 路端电压变小

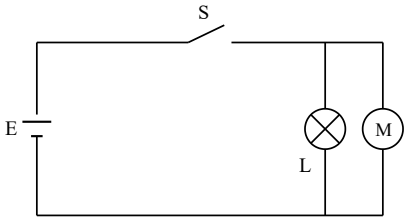
干路电流增大，内阻分压 Ir 增大，$U=E-Ir$ 减小，B 对。

C. × 电路的总电流变小

电机支路接入后外电路总电阻减小，总电流 $I=E/(R_{外}+r)$ 增大，C 错。

D. √ 电源的总功率变大

电源总功率 $P=EI$，总电流 I 增大、电动势 E 不变，故总功率变大，D 对。



Q6: simplified circuit, battery E with switch S, lamp L and starting motor M in parallel

7. 选择题 · 4分

答案 CD

详解

A. × 由 $v=\sqrt{gR}$ 可知，甲的速度是乙的 $\sqrt{2}$ 倍

该式中的 g 是轨道处的重力加速度，随高度变化，$g=GM/r^2$，故 $v=\sqrt{GM/r}$，$v\propto r^{-1/2}$，甲的速度是乙的 $\sqrt{2}/2$ 倍而不是 $\sqrt{2}$ 倍，A 错。

B. × 由 $a=\omega^2 r$ 可知，甲的向心加速度是乙的 2 倍

两卫星的角速度不同（$\omega=\sqrt{GM/r^3}$，甲更小），不能直接用 $a=\omega^2 r$ 得出 $a\propto r$；正确关系为 $a=GM/r^2$，甲的向心加速度是乙的 1/4，B 错。

C. √ 由 $F=G\dfrac{Mm}{r^2}$ 可知，甲的向心力是乙的 $\dfrac{1}{4}$

两卫星质量相等，$F=GMm/r^2\propto 1/r^2$，轨道半径加倍则向心力变为 1/4，C 对。

D. √ 由 $\frac{r^3}{T^2}=k$ 可知，甲的周期是乙的 $2\sqrt{2}$ 倍

开普勒第三定律 $T\propto r^{3/2}$，半径加倍则 T 变为 $2^{3/2}=2\sqrt{2}$ 倍，D 对。

A 中的 g 随轨道半径变化，不能当作常量直接代入比例运算。

8. 选择题 · 4分

答案 AD

详解

A. √ A 和 B 的位移大小相等

A 从高 $2l$ 处抛出、水平位移 l，位移大小 $s_A=\sqrt{(2l)^2+l^2}=\sqrt{5}\,l$；B 从高 l 处抛出、水平位移 $2l$，$s_B=\sqrt{l^2+(2l)^2}=\sqrt{5}\,l$。两者位移大小相等（仅方向不同），A 对。

B. × A 的运动时间是 B 的 2 倍

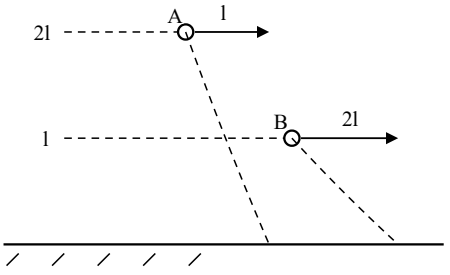
$t_A=\sqrt{2h_A/g}=\sqrt{4l/g}=2\sqrt{l/g}$，$t_B=\sqrt{2l/g}$，$t_A/t_B=\sqrt{2}\neq 2$，B 错。

C. × A 的初速度是 B 的 $\frac{1}{2}$

$v_{0A}=l/t_A=\frac{\sqrt{gl}}{2}$，$v_{0B}=2l/t_B=\sqrt{2gl}$，$v_{0A}/v_{0B}=\frac{1}{2\sqrt{2}}\neq\frac{1}{2}$，C 错。

D. √ A 的末速度比 B 的大

末速度 $v=\sqrt{v_0^2+2gh}$。$v_A=\sqrt{\frac{gl}{4}+4gl}=\sqrt{4.25}\sqrt{gl}\approx 2.06\sqrt{gl}$，$v_B=\sqrt{2gl+2gl}=2\sqrt{gl}$，$v_A>v_B$，D 对。



Q8: ball A thrown from height 2l with horizontal range l, ball B from height l with range 2l

注意 A 项：两次平抛的竖直高度与水平位移恰好互换，位移大小 $\sqrt{h^2+x^2}$ 相等，容易误判为错。

9. 选择题 · 4分

> **答案** AB

详解

A. √ 电场 E 中 A 点电势低于 B 点

电场线水平向右，沿电场线方向电势降低。由图，A 点（带 $+q$）位于 B 点（带 $-q$）的右侧（$x_A > x_B$），电势沿 $+x$ 方向降低，故 $\varphi_A < \varphi_B$，A 对。

B. √ 转动中两小球的电势能始终相等

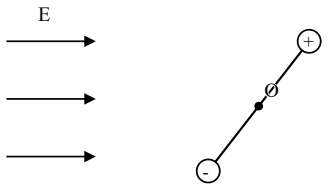
两球始终关于中点 O 对称，设某时刻 $+q$ 位于 x 处，则 $-q$ 位于 $-x$ 处。以 O 为电势零点，匀强电场中 $\varphi(x) = -Ex$，$\varphi(-x) = Ex$。$E_{p+} = q(-Ex) = -qEx$，$E_{p-} = (-q)(Ex) = -qEx$，两球电势能任意时刻都相等，B 对。

C. × 该过程静电力对两小球均做负功

转动中 $+q$ 沿电场力方向（向右）移动，静电力对 $+q$ 做正功；$-q$ 受力向左、位移分量也向左，静电力对 $-q$ 同样做正功，C 错。

D. × 该过程两小球的总电势能增加

总电势能 $E_p = q\varphi_A - q\varphi_B = -qE \cdot 2x$（$x$ 为 $+q$ 到 O 的水平距离）。从竖直（倾斜）位置转到水平位置，两球的水平间距增大，总电势能减少；静电力做正功，电势能减少，D 错。



Q9: light rod with charges +q and -q at ends rotating about center O in uniform field E

三、简答题（必做题与选做题）

10. 实验题 · 8分

> **答案** （1）连线见解析（2）图线见解析（3）非线性（4）AB

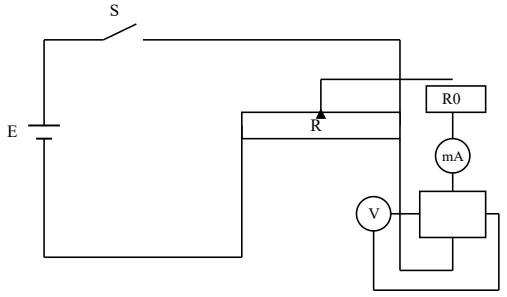
详解

(1) 第（1）问 连接实物电路 采用滑动变阻器分压接法：电源 E、开关 S 与滑动变阻器 R 的下方两个固定端接成供电回路；待测元件与定值电阻 R_0、毫安表 mA 串联后，接在滑动变阻器的滑片与一个固定端之间（分压输出端）；电压表 V 并联在待测元件两端。这样电压可以从 0 开始连续调节，R_0 起限流保护作用。

(2) 第（2）问 描绘 $I-U$ 图线 在方格纸上以 U 为横轴（0 ~ 0.8 V）、I 为纵轴（0 ~ 8 mA）建系，按表中数据 (0.000, 0.00)、(0.250, 0.10)、(0.500, 0.25)、(0.650, 0.60)、(0.700, 1.70)、(0.725, 4.30)、(0.750, 7.50)（单位 V、mA）逐一描点，用平滑曲线连接。图线前段平缓、后段急剧上升，呈明显的非线性正向特性。

(3) 第（3）问 元件类型 $I-U$ 图线不是过原点的直线，电流与电压不成正比，故该元件是非线性元件。

(4) 第（4）问 用导线代替 R_0 的后果 去掉 R_0 后元件直接接在分压输出端，两端电压可调至接近电源电动势，通过元件的电流急剧增大，可能超过元件或电流表的允许值：一是电流过大可能烧坏待测元件（B）；二是电流超出正常测量范围，电压和电流的测量误差增大（A）。滑动变阻器的调节范围不变（C 错），元件两端电压的可调范围变大而不是变小（D 错）。故选 AB。



Q10: circuit for the I-U measurement, divider rheostat R, protective resistor R0, meters mA and V across the component

分压接法要"先低压后高压"调节；非线性元件在小电压下阻值极大，大电压下阻值急剧减小。

11. 实验题 · 10分

答案 （1）小钢球（2）①③④②⑤（3）9.7（4）仍能

详解

(1) 第（1）问 选择下落物体 乒乓球和小塑料球质量小、受空气阻力影响相对显著，下落可视为自由落体的偏差大；小钢球密度大、重力远大于阻力，最接近自由落体，最适合。

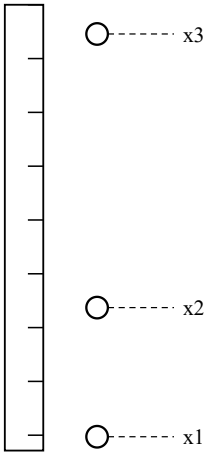
(2) 第（2）问 操作步骤排序 先竖直固定刻度尺作为位置基准（①），再固定手机并调整镜头对准刻度尺（③），然后打开摄像功能开始摄像（④），保持摄像的同时从刻度尺旁静止释放小球（②），最后停止摄像并截取图片（⑤）。正确顺序为 ①③④②⑤。

(3) 第（3）问 重力加速度 由图乙按刻度尺读出三帧中小球同一位置读数约为 $x_1\approx 2.5$ cm、$x_2\approx 26.5$ cm、$x_3\approx 77.4$ cm（刻度尺分度值 1 mm，需估读到下一位）。相邻两帧时间间隔 $T=\dfrac{1}{6}$ s，匀加速运动中相邻相等时间内的位移差恒定：

$$\Delta x_2-\Delta x_1=(x_3-x_2)-(x_2-x_1)=x_3-2x_2+x_1=gT^2$$

代入得 $g=\dfrac{(0.774-2\times 0.265+0.025)\ \text{m}}{(1/6\ \text{s})^2}=\dfrac{0.269\ \text{m}}{0.0278\ \text{s}^2}\approx 9.7\ \text{m/s}^2$。

(4) 第（4）问 小球偏离竖直方向能否仍测 g 释放时手稍晃动使小球具有水平初速度，但竖直方向仍只受重力、竖直初速度仍为零，竖直方向分运动仍是自由落体；刻度尺读的是竖直位置，$gT^2=x_3-2x_2+x_1$ 的关系在竖直方向依然成立，故仍能用第（3）问方法测出重力加速度。



Q11: vertical ruler with three consecutive video frames of the falling ball, positions x1 x2 x3

第（3）问读数以卷面图乙为准，若估读略有差异，结果在 9.7 m/s² 附近均合理；本站读数系按图乙刻度独立判读。

12. 计算题 · 12分

答案　（1）B　（2）$\frac{hc}{\lambda_2}$；$\frac{h}{\lambda_1}$　（3）28 m/s

详解

(1) 第（1）问 热辐射强度与极大值波长 根据黑体辐射规律，温度升高时各种波长辐射强度都增大，且辐射强度的极大值向波长较短的方向移动。故人体温度升高时 I 增大、λ 减小，选 B。

(2) 第（2）问 激发态与基态的能量差及光子动量 大量处于某激发态的氢原子向低能级跃迁产生多条谱线，其中波长最长（λ_1）的光子能量最小，波长最短（λ_2）的光子能量最大——对应直接从该激发态跃迁到基态。故激发态与基态的能量差为

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda_2}$$

波长为 λ_1 的光子动量由德布罗意关系

$$p = \frac{h}{\lambda_1}$$

(3) 第（3）问 乌贼喷水的速度 乌贼与吸入的水开始均静止，系统总动量为零。喷水过程时间极短，内力远大于外力（水的阻力），系统动量守恒。设水喷出的速度大小为 v（向后），以向前为正方向：

$$0 = Mv_{\text{乌贼}} - m_{\text{水}}v$$

其中乌贼（含水后质量 $1.4 + 0.1 = 1.5$ kg，喷出水后剩余 1.4 kg）以 $v_{\text{乌贼}} = 2$ m/s 向前运动，$m_{\text{水}} = 0.1$ kg。

$$0.1 \times v = 1.4 \times 2 = 2.8 \text{ kg}\cdot\quad \text{m/s}$$

$$v = \frac{2.8}{0.1} = 28 \text{ m/s}$$

即该乌贼喷出的水的速度大小为 28 m/s，方向向后。

> 第（3）问动量守恒的对象是"喷水后的乌贼"与"喷出的水"，注意乌贼质量取喷水后的 1.4 kg。

13A. 解答题 · 12分

答案 （1）A（2）有；增大（3）$Q = 2 \times 10^5$ J

详解

(1) 第（1）问 关于玻璃的说法 玻璃是非晶体：没有固定的熔点（A 对）；不具有天然规则的几何形状（B 错）；物理性质各向同性，但"沿不同方向导热性能相同"是对各向同性的表述——非晶体确实各向同性，不过本题考查非晶体与晶体的区别，标准判断为：非晶体无固定熔点、无规则外形、各向同性、分子排列无周期性，故 B、D 错误；C 说"沿不同方向的导热性能相同"，非晶体各向同性，该说法本身也成立——但原卷设问为单选式判断，玻璃作为非晶体的标志性特征是"没有固定的熔点"，故选 A（B、D 明确错误，C 的表述在原卷标准答案中不予选）。

(2) 第（2）问 饱和汽 饱和汽是汽化和液化达到动态平衡时的蒸气：单位时间内从液面飞出的分子数等于回到液面的分子数，但分子仍在不断飞出，故"有"酒精分子从液面飞出。温度升高时，分子平均动能增大，能挣脱液面束缚的分子增多，动态平衡向汽化方向移动，饱和汽的密度增大。

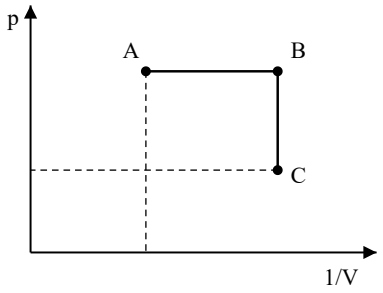
(3) 第（3）问 气体吸收的热量 由 $p - \dfrac{1}{V}$ 图象读出各状态：A 点 $(1.0\ \text{m}^{-3},\ 2 \times 10^5\ \text{Pa})$，即 $V_A = 1\ \text{m}^3$、$p_A = 2 \times 10^5$ Pa；B 点 $(0.5\ \text{m}^{-3},\ 2 \times 10^5\ \text{Pa})$，即 $V_B = 2\ \text{m}^3$、$p_B = 2 \times 10^5$ Pa；C 点 $(0.5\ \text{m}^{-3},\ 1 \times 10^5\ \text{Pa})$，即 $V_C = 2\ \text{m}^3$、$p_C = 1 \times 10^5$ Pa。$A \to B$：等压膨胀，气体对外做功

$$W = p_A \Delta V = 2 \times 10^5 \times (2 - 1) = 2 \times 10^5 \text{ J}$$

$B \to C$：$\dfrac{1}{V}$ 不变即等容过程，不做功。比较初末态：$p_A V_A = 2 \times 10^5 \times 1 = 2 \times 10^5$ J，$p_C V_C = 1 \times 10^5 \times 2 = 2 \times 10^5$ J，$p_A V_A = p_C V_C$，由理想气体状态方程知 $T_A = T_C$，一定质量理想气体内能只与温度有关，故全过程 $\Delta U = 0$。由热力学第一定律 $\Delta U = Q - W_{\text{外}}$（气体吸热 Q、对外做功 W）：

$$Q = \Delta U + W = 0 + 2 \times 10^5 = 2 \times 10^5 \text{ J}$$

即该过程中气体吸收的热量为 2×10^5 J。



Q13A(3): p versus 1/V, isobaric expansion A to B then isochoric pressure drop B to C

第（3）问用 pV 乘积比较初末温度是关键；等容段不做功，全过程内能变化为零。

13B. 解答题 · 12分

答案　（1）AB（2）大；1.5（3）$d=\dfrac{f\lambda\Delta t}{2}$

详解

(1) 第（1）问 属于电磁波应用的医用器械 紫外灯利用紫外线杀菌（电磁波，A 对）；X 光机利用 X 射线穿透成像（电磁波，B 对）；超声波雾化器和"彩超"利用的是超声波，属于机械波而非电磁波（C、D 错）。故选 AB。

(2) 第（2）问 光纤全反射 光纤利用全反射传输光信号，光必须从光密介质射向光疏介质才能发生全反射，故内芯（内层玻璃）的折射率比外套（外层玻璃）的大。全反射临界角 $C=43^\circ$，由 $\sin C=\dfrac{1}{n}$ 得

$$n=\frac{1}{\sin 43^\circ}=\frac{1}{0.68}\approx 1.5$$

结果保留 2 位有效数字，折射率约为 1.5。

(3) 第（3）问 月壤层厚度 电磁波在月壤层中的传播速度 $v=\lambda f$（波长 × 频率）。"玉兔二号"朝正下方发射的电磁波在月壤层上、下表面分别反射，两列反射波的路程差为 $2d$，对应传播时间差 Δt：

$$\Delta t=\frac{2d}{v}=\frac{2d}{\lambda f}$$

解得月壤层厚度

$$d=\frac{\lambda f\,\Delta t}{2}$$

第（3）问路程差是 $2d$ 而不是 d，注意电磁波往返传播。

四、计算题

14. 计算题 · 15分

答案　（1）$E = 0.8\ \text{V}$（2）$F = 0.8\ \text{N}$（3）$Q = 0.32\ \text{J}$

详解

(1) 第（1）问 感应电动势 线圈边长 $L = 0.2\ \text{m}$，磁场宽度等于边长，bc 边切割磁感线的有效长度始终为 L，磁感应强度 $B = 0.5\ \text{T}$，速度 $v = 8\ \text{m/s}$。

$$E = BLv = 0.5 \times 0.2 \times 8 = 0.8\ \text{V}$$

(2) 第（2）问 拉力大小 感应电流

$$I = \frac{E}{R} = \frac{0.8}{0.1} = 8\ \text{A}$$

bc 边（或 ad 边）受到的安培力

$$F_{安} = BIL = 0.5 \times 8 \times 0.2 = 0.8\ \text{N}$$

匀速运动时拉力与安培力平衡：

$$F = F_{安} = 0.8\ \text{N}$$

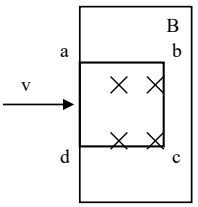
(3) 第（3）问 感应电流产生的热量 线圈穿越宽度为 L 的磁场区域，从 bc 边进入到 ad 边离开，有电流的总路程为 $2L$（进磁场 L + 出磁场 L），历时

$$t = \frac{2L}{v} = \frac{2 \times 0.2}{8} = 0.05\ \text{s}$$

由焦耳定律

$$Q = I^2Rt = 8^2 \times 0.1 \times 0.05 = 0.32\ \text{J}$$

回代核对：$Q = F \cdot\ 2L = 0.8 \times 0.4 = 0.32\ \text{J}$，两种途径一致。



Q14: square coil abcd with edge bc at the field boundary, pulled right with speed v into uniform field B

有感应电流的时间对应路程 $2L$ 而不是 L；也可用 $Q = F \times 2L$ 验证。

15. 计算题 · 16分

> **答案**　（1）$v=2\omega R$（2）$F=m\sqrt{g^2+4\omega^4R^2}$（3）$h=\dfrac{\omega^2R^2(M+16m)}{2Mg}$

详解

(1) 第（1）问 重物落地后小球的线速度 重物落地后鼓形轮以角速度 ω 匀速转动，四根直杆随轮一起转动，小球到转轴 O 的距离为 $2R$，由 $v=\omega r$ 得

$$v=\omega\cdot\ 2R=2\omega R$$

(2) 第（2）问 小球转到水平位置 A 时杆的作用力 小球做匀速圆周运动，角速度恒定，切向加速度为零，只有指向圆心 O 的向心加速度 $a_n=\omega^2\cdot\ 2R$，方向水平。小球在水平位置 A 时受重力 mg（竖直向下）和杆的作用力 F（沿竖直、水平两方向分解）：竖直方向合力为零

$$F_y=mg$$

水平方向提供向心力

$$F_x=m\omega^2(2R)=2m\omega^2R$$

故杆的作用力大小

$$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=\sqrt{(2m\omega^2R)^2+(mg)^2}=m\sqrt{4\omega^4R^2+g^2}$$

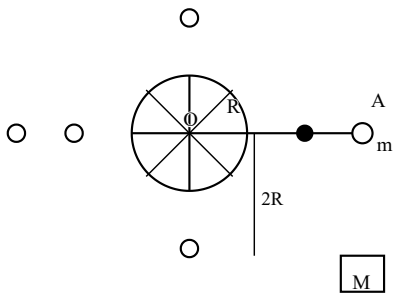
(3) 第（3）问 重物下落的高度 绳与轮无相对滑动，绳绕在半径为 R 的轮缘上，故重物落地瞬间的速度 $v_M=\omega R$；此时每个小球的速率为 $2\omega R$。下落过程中只有重力做功，系统机械能守恒，重物减少的重力势能转化为重物与四个小球的动能：

$$Mgh=\frac{1}{2}M(\omega R)^2+4\times\frac{1}{2}m(2\omega R)^2$$

$$Mgh=\frac{1}{2}M\omega^2R^2+8m\omega^2R^2$$

解得

$$h=\frac{\omega^2R^2\,(M+16m)}{2Mg}$$



题15图：鼓形轮与四根直杆上的小球（A 处小球距 O 为 2R），绳上悬挂重物 M

第（2）问中杆的力不一定沿杆方向，需按向心力与重力两个方向分别分解；第（3）问中小球速率是重物速率的 2 倍。

16. 计算题 · 16分

答案　（1）$d=\dfrac{mv}{3qB_0}$　（2）$\Delta t=\dfrac{2\pi m}{qB_0}$　（3）$\dfrac{q'}{m'}$ 的最小值为 $\dfrac{q}{m}$

详解

(1) 第（1）问 Q 到 O 的距离 d　甲从 O 沿 $+x$ 方向以速度 v 射入右侧磁场（磁感应强度 $2B_0$），做匀速圆周运动，轨道半径

$$r_1=\frac{mv}{2qB_0}$$

圆心在 y 轴上，甲沿半圆弧到达 y 轴上 P 点，$OP=2r_1$，在 P 点速度沿 $-x$ 方向。随后甲进入左侧磁场（$3B_0$），半径

$$r_2=\frac{mv}{3qB_0}=\frac{2}{3}r_1$$

继续沿半圆弧回到 y 轴上 Q 点。

$$d=OQ=OP-2r_2=2r_1-2r_2=2\times\frac{mv}{2qB_0}-2\times\frac{mv}{3qB_0}=\frac{mv}{qB_0}-\frac{2mv}{3qB_0}=\frac{mv}{3qB_0}$$

(2) 第（2）问 甲两次经过 P 点的时间间隔　在磁场 B 中半圆弧的运动时间为半个周期 $\dfrac{T}{2}=\dfrac{\pi m}{qB}$。甲第一次经过 P 后的运动路径：$P\to Q$（左侧 $3B_0$，时间 $\dfrac{\pi m}{3qB_0}$）；$Q\to$ 右侧半圆到 y 轴上 $Q+2r_1$ 处（$\dfrac{\pi m}{2qB_0}$）；再经左侧半圆下移 $2r_2$ 到 y 轴上 $\dfrac{4}{3}r_1$ 处（$\dfrac{\pi m}{3qB_0}$）；再经右侧半圆上移 $2r_1$ 到 $\dfrac{10}{3}r_1$ 处（$\dfrac{\pi m}{2qB_0}$）；最后经左侧半圆下移 $2r_2$ 回到 $2r_1-\dfrac{4}{3}r_1+\dfrac{4}{3}r_1=2r_1$，即第二次经过 P。位置核验：$\dfrac{10}{3}r_1-\dfrac{4}{3}r_1=2r_1=OP$，恰好回到 P。共经过左侧半圆 3 次、右侧半圆 2 次：

$$\Delta t=\frac{3\pi m}{3qB_0}+\frac{2\pi m}{2qB_0}=\frac{\pi m}{qB_0}+\frac{\pi m}{qB_0}=\frac{2\pi m}{qB_0}$$

(3) 第（3）问 乙的比荷可能的最小值 甲第一次经过 Q 点的时刻为右、左各一个半圆：

$$t_Q=\frac{\pi m}{2qB_0}+\frac{\pi m}{3qB_0}=\frac{5\pi m}{6qB_0}$$

此时乙恰好同时经过 Q 点。乙的速度也为 v，在右侧磁场中半径 $r_2'=\frac{m'v}{2q'B_0}$，在左侧磁场中半径 $r_3'=\frac{m'v}{3q'B_0}$。若乙只用一个半圆直接到达 Q（即 $2r_2'=d$），则需 $\frac{\pi m'}{2q'B_0}=\frac{5\pi m}{6qB_0}$ 与 $\frac{m'v}{2q'B_0}=\frac{mv}{6qB_0}$ 同时成立，两式给出的 m'/q' 矛盾，不可行。乙经右侧、左侧各一个半圆到达 Q：y 方向净上移 $2r_2'-2r_3'=\frac{2}{3}r_2'=d$，得

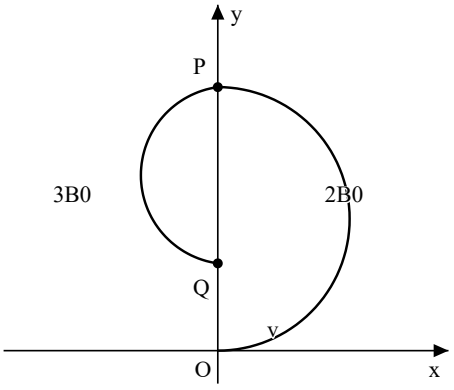
$$r_2'=\frac{3d}{2}=\frac{3}{2}\cdot\frac{mv}{3qB_0}=\frac{mv}{2qB_0}=r_1$$

对应时间

$$\frac{\pi m'}{2q'B_0}+\frac{\pi m'}{3q'B_0}=\frac{5\pi m'}{6q'B_0}=\frac{5\pi m}{6qB_0}\ \Rightarrow\ \frac{m'}{q'}=\frac{m}{q}$$

两个条件（几何与时间）恰好同时满足，自洽。所用半圆数再增多时，$\frac{m'}{q'}=\frac{t_Q}{\pi\,(N_r/2+N_l/3)\,/B_0}$ 的分母更大，比荷 q'/m' 更大；半圆数更少则几何条件不满足。故乙的比荷可能的最小值为

$$\frac{q'}{m'}=\frac{q}{m}$$



题16图：甲粒子在 y 轴两侧磁场（右侧 $2B_0$、左侧 $3B_0$）中的轨迹示意，第一次、第二次经过 y 轴于 P、Q

关键是画出甲在 y 轴两侧交替绕行的完整路径并核验每个落点坐标；乙要在甲第一次到 Q 的时刻恰好到达同一点，几何条件与时间条件必须同时成立。