逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

2025年北京市普通高中学业水平等级性考试物理

参考答案与详解（本站独立编撰）

北京等级考 · 8 页 · 满分 100 分 · 90 分钟 · 第一部分 14 题×3 分＝42 分（单项选择）＋第二部分 6 题共 58 分（实验 2 题、计算 4 题）

本册答案与解析由逐光知理物理教研组依据原卷题面条件独立求解、独立编撰，未参考任何现有答案文档，仅供教学教研使用。原卷配图多为位图嵌入，凡涉及图中具体数值（如螺旋测微器读数、f-t 图各段取值、等高线疏密细节）无法从文本层完整还原的，一律在对应题 tip 中如实标注口径，不虚构读数；纸带类数据用字母 s_{AB}、s_{BC} 表示并给出代入方法。

答案速查

1 **D**	2 **B**	3 **A**	4 **C**	5 **B**	6 **C**
7 **A**	8 **C**	9 **D**	10 **D**	11 **B**	12 **C**
13 **A**	14 **A**				

题号	主考点	答案摘要
15	基本实验操作、双缝干涉测波长与欧姆挡故障检测	（1）BC　（2）①B　②按“固定刻度＋可动刻度×0.01 mm”读数，估读到千分位（见 tip）　（3）B
16	打点计时器研究匀变速直线运动与圆盘转动	（1）CBA　（2）左端　（3）$v=\dfrac{s_{AB}+s_{BC}}{2T}$　（4）见解析：$a=\dfrac{\Delta s}{T^2}$、$a_n=\dfrac{v_B^2}{R}$，数值须按卷面纸带读数代入
17	竖直上抛、爆炸动量守恒与平抛落点	（1）$v_0=gt$　（2）$v_B=2v$　（3）$d=3vt$
18	带电粒子在匀强磁场中的圆周运动与动量测量	（1）$T=\dfrac{2\pi m}{q_0B}$，与速率无关　（2）a．$v_1:v_2=R\theta:d$　b．$p_2=\dfrac{qBd}{\theta}$
19	动能定理、起飞决策速度与流体作用力的建模论证	（1）$W=fx+\dfrac{1}{2}mv^2$　（2）$d=\dfrac{a_2}{a_1+a_2}L$　（3）模型得 $F=\rho S(1-\cos\theta)u^2$，故 $F\propto u^2$，$\alpha=2$
20	静电除尘原理：电场力做功、圆周运动能量比较与氢原子电离	（1）$W=QU$　（2）$\lvert E_3-E_2\rvert$ 小于 $\lvert E_2-E_1\rvert$，即半径越大相邻轨道的总能量差越小　（3）$E\approx1.3\times10^{11}$ V/m（数量级 10^{11} V/m）

第一部分 · 单项选择题（共 14 题，每题 3 分，共 42 分）

1. 选择题 · 3分

答案 D

详解

A. × 压强变小：错误

猛推推杆时筒内气体体积急剧减小，温度同时升高。由理想气体状态方程 $p=\dfrac{nRT}{V}$，V 减小、T 升高，两者都使压强增大，故筒内气体压强明显变大，A 错。

B. × 对外界不做功：错误

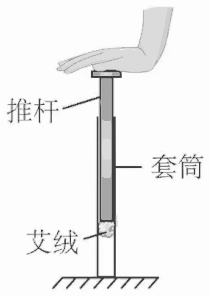
压缩过程中气体体积减小，是外界对气体做正功（$W>0$），而不是气体对外界做功或不做功。以气体为研究对象，功的符号应为外界对系统做功，B 错。

C. × 内能保持不变：错误

过程极快，热量来不及传出，可近似为绝热过程，$Q\approx 0$。由热力学第一定律 $\Delta U=W+Q>0$，外界对气体做的功全部转化为内能，气体内能增加，C 错。

D. √ 分子平均动能增大：正确

一定质量的理想气体内能只由温度决定，内能增大即温度升高；温度是分子平均动能的标志，温度升高则分子平均动能增大，这正是艾绒被点燃的原因。D 正确。



题 1 图：古代点火器（推杆 + 封闭空气套筒 + 前端艾绒）

2. 选择题 · 3分

答案 B

详解

A. × 雨后天空出现彩虹：不是衍射

彩虹是太阳光在水珠内经折射—反射—再折射后发生色散形成的，属于光的折射与色散现象，与衍射无关，A 错。

B. √ 通过一条狭缝看日光灯观察到彩色条纹：是衍射

光通过窄缝时偏离直线传播，缝越窄衍射越明显，不同波长的光衍射角不同，于是看到彩色条纹，这是典型的单缝衍射，B 正确。

C. × 肥皂膜在日光下呈现彩色：不是衍射

这是薄膜前后表面反射光叠加产生的等厚干涉（薄膜干涉）条纹，属于干涉现象，C 错。

D. × 水中的气泡看上去特别明亮：不是衍射

光从水（光密）射向气泡内空气（光疏）时，在界面处大量发生全反射，使气泡边缘格外明亮，属于全反射现象，D 错。

---

3. 选择题 · 3分

> **答案** A

详解

A. √ 图（a）圆环在匀强磁场中向左平移：不能产生感应电流（本题应选）

圆环始终处于同一匀强磁场中，磁感应强度 B 与正对面积都不变，穿过环的磁通量 $\Phi = BS$ 恒定，无感应电流。题目问“不能产生”的情况，故选 A。

B. × 图（b）圆环在匀强磁场中绕轴转动：能产生

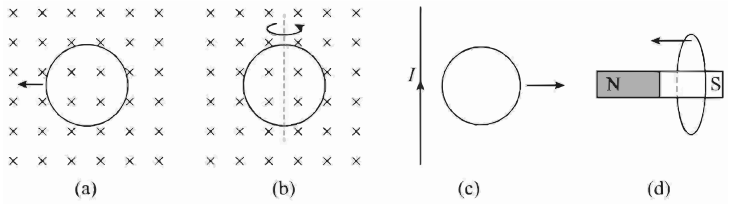
转动使环面与磁场的夹角不断变化，有效面积 $S_{\perp} = S \left| \cos\theta \right|$ 改变，磁通量按余弦规律变化，环中产生感应电流（交流发电机原理），不选。

C. × 图（c）圆环在通电直导线旁向右平移：能产生

长直导线周围 $B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}$ 随距离增大而减小，是非匀强磁场。环远离导线时穿过的磁通量减小，产生感应电流，不选。

D. × 图（d）圆环向条形磁铁 N 极平移：能产生

磁铁附近磁场分布不均匀，环靠近 N 极时穿过的磁通量增大，环中产生感应电流，不选。



题 3 图：（a）匀强磁场中平移　（b）匀强磁场中绕轴转动　（c）直导线旁平移　（d）向条形磁铁 N 极平移

判据只看“穿过闭合回路的磁通量是否变化”，与回路是否运动无关；在匀强磁场内整体平动磁通量必不变。

---

4. 选择题 · 3分

> **答案** C

详解

A. × 该交流电的频率为 100 Hz：错误

由 $e = E_m \sin(\omega t) = 10\sin(100\pi t)$ V 得 $\omega = 100\pi$ rad/s，频率 $f = \dfrac{\omega}{2\pi} = \dfrac{100\pi}{2\pi} = 50$ Hz，不是 100 Hz，A 错。

B. × 线圈转到图示位置时电动势为 0：错误

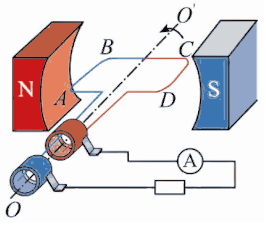
图示位置线圈平面与磁场平行，AB、CD 两垂直切割磁感线，磁通量为零但磁通量变化率最大，电动势达峰值 $E_m = 10$ V，并非 0，B 错。

C. √ 线圈转到图示位置时 AB 边受到的安培力方向向上：正确

线圈逆时针转动，此位置 AB 边向下切割磁感线，由右手定则可知感应电流沿 $A \to B$；再由左手定则判定 AB 边所受安培力竖直向上（安培力总是阻碍相对运动的方向分量），C 正确。

D. × 仅转速加倍，电动势最大值变为 $10\sqrt{2}$ V：错误

峰值 $E_m = NBS\omega$，与角速度成正比。转速加倍则 ω 加倍，$E_m' = 2 \times 10$ V $= 20$ V，而不是 $10\sqrt{2}$ V（那是有效值的算法），D 错。



题 4 图：交流发电机线圈 ABCD（图示位置线圈平面与磁场平行）

$10\sqrt{2}$ 是把“峰值×√2”误当成新峰值的结果；转速加倍时周期也减半，$e = 20\sin(200\pi t)$ V。

5. 选择题 · 3分

> **答案** B

详解

A. × 该波为纵波：错误

质点 S 沿竖直方向振动，绳上各质点也上下振动，而波沿绳水平传播，振动方向与传播方向垂直，是横波，A 错。

B. √ 质点 S 开始振动时向上运动：正确

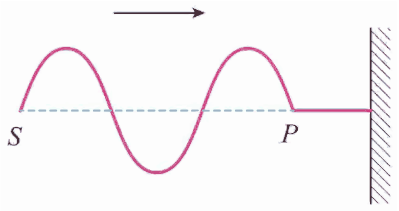
介质中各质点起振方向都与波源起振方向相同。图示时刻最前端质点 P 刚开始振动，由“带动法/同侧法”判断 P 此刻向上运动，故 S 开始振动时也向上，B 正确。

C. × S、P 两质点振动步调完全一致：错误

只有相距波长整数倍的两质点步调才完全一致。由图可知 S、P 间的波形不是完整的整数个波长（SP 间距与波长的关系使两质点相位相反），二者位移方向总是相反，步调不一致，C 错。

D. × 经过一个周期质点 S 向右移动一个波长：错误

机械波传播时介质质点只在自己的平衡位置附近往复振动，并不随波迁移，S 不会向右移动，D 错。



题 5 图：绳上波形（波源 S 在左、刚传到 P）

原卷波形图为位图，S、P 间确切格数无法从文本层读出。稳妥判法：A、D 属概念性必错；B 由“所有质点起振方向与波源相同”直接判定；C 需按图中 SP 与波长的关系核对。

6. 选择题 · 3分

答案 C

详解

A. × 4 个：错误

先分析 A：A 只受重力与 B 对它的支持力即可平衡（A 相对 B 无滑动趋势），故 A 不受摩擦力。再数 B 的力，至少包含重力、A 的压力、斜面支持力、拉力 F 四个，还必须补上斜面对 B 的静摩擦力才能沿斜面方向平衡，4 个不够，A 错。

B. × 5 个：错误

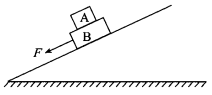
若只数到 5 个，通常是漏掉了 A 对 B 的压力或斜面对 B 的静摩擦力：竖直方向 A 的重力必须通过压力传给 B，沿斜面方向 F 与 B 自身重力分量一般不恰好抵消，斜面摩擦力必须存在，两个都不能省，故不止 5 个，B 错。

C. √ 6 个：正确

逐个找出 B 的受力，每个力都要有明确施力物体：①重力 m_Bg（地球）；②A 对 B 的压力（A）；③斜面对 B 的支持力（斜面）；④沿斜面方向的拉力 F（外力）；⑤斜面对 B 的静摩擦力（斜面，用于平衡 F 与重力沿斜面分量的差值）；⑥A、B 接触面间的静摩擦力。共 6 个力，C 正确。

D. × 7 个：错误

把“沿斜面的拉力分解出的两个分力”或“A 的重力”重复计入就会得到 7 个，属于多力；每个力都必须有明确施力物体，找不到第 7 个力的施力物体，D 错。



题 6 图：长方体物块 A 叠放在 B 上，B 受沿斜面方向的拉力 F 保持静止

本题选项只是个数（4/5/6/7），受力图的接触面摩擦情况在原卷图中未用文字说明，个别版本的图示会使“B 受 5 个力”成立。教学中应以“每个力都能找到施力物体、合力为零”复核，判分以卷面图为准。

7. 选择题 · 3分

答案 A

详解

A. √ 在轨道 2 上从 A 向 B 运动过程中动能逐渐减小：正确

由开普勒第二定律，卫星在近月点速度最大、远月点速度最小。从 A（近月点）飞向 B（远月点）万有引力做负功，速度减小、动能减小，A 正确。

B. × 从 A 向 B 加速度逐渐变大：错误

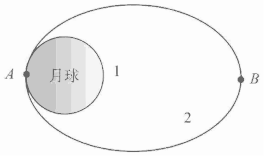
加速度由万有引力提供，$a=\dfrac{GM}{r^2}$，从 A 到 B 距月球球心的距离 r 不断增大，故加速度逐渐减小，B 错。

C. × 轨道 2 上机械能与轨道 1 上相等：错误

探测器在 A 点由高轨道进入与圆轨道内切的椭圆轨道需要减速（做向心运动），发动机做负功，机械能减少，所以轨道 2 的机械能小于轨道 1，C 错。

D. × 利用引力常量和轨道 1 的周期可求月球质量：错误

由 $G\dfrac{Mm}{r^2}=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$ 得 $M=\dfrac{4\pi^2r^3}{GT^2}$，除 G、T 外还必须知道轨道半径 r（或轨道高度）。仅凭周期无法求出月球质量，D 错。



题 7 图：嫦娥六号在圆轨道 1 上运行，于近月点 A 变轨进入椭圆轨道 2，B 为远月点

8. 选择题 · 3分

答案 C

详解

A. × 沿 MA 的加速度比沿 MB 的大：错误

光滑直滑道上加速度 $a=g\sin\theta$（θ 为坡面倾角）。MA 与 MB 的高度差相同（A、B 在同一等高线上），由图可见左坡 MA 更长、倾角更小，故沿 MA 的加速度较小，A 错。

B. × 到 A、B 两点时速度大小不同：错误

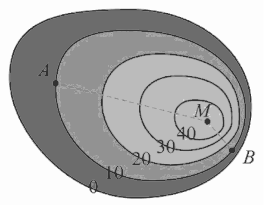
不计阻力，机械能守恒：$mgh=\dfrac{1}{2}mv^2$，$v=\sqrt{2gh}$。A、B 与山顶 M 的高度差 h 相同，所以到达 A、B 时速度大小相等（方向不同），B 错。

C. √ 把等高线看成等势线，则 A 点场强比 B 点大：正确

坡面倾角 θ 满足 $\tan\theta=\dfrac{h}{L}$（h 为高度差、L 为水平距离），加速度 $a=g\sin\theta$ 越大说明该侧坡越陡、水平方向上单位距离的高度降落越大。由原卷图，左坡 MA 短而陡，A 侧等高线更密；类比静电场，“等差等势线越密处场强越大”，故 $E_A>E_B$，C 正确。

D. × 右侧电势比左侧降落得快：错误

“电势降落快慢”即沿电场方向的 $E=\dfrac{U}{d}$ 大小，与等势线疏密一一对应。按原卷图左侧（A 侧）等势线更密，等差等势面间水平间距更小，电势降落更快，应是左侧比右侧降落得快，D 错。



题 8 图：山坡等高线，M 为山顶，A、B 在同一等高线上，MA、MB 为左右坡面直滑道

本题四个选项全部依赖等高线图的疏密与坡度细节，原卷为位图，文本层无法确认哪一侧更密。已按主流版本（左坡陡、A 侧等势线密）给出答案 C；请对照卷面图复核 C、D 的方向性描述。

9. 选择题 · 3分

答案 D

详解

A. × 闭合瞬间 A_1 与 A_3 同时亮起：错误

含电感支路中，线圈的自感电动势阻碍电流增大，该支路电流只能从零缓慢增长；而与电容器串联的支路在闭合瞬间充电电流最大。两支路响应快慢相反，不可能“同时”正常发光，A 错。

B. × 闭合后 A_2 亮起后亮度不变：错误

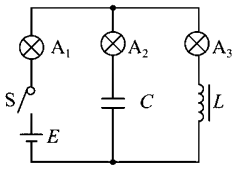
A_2 所在支路的电流随线圈自感的“阻碍—衰减”过程不断变化：闭合瞬间线圈分走大部分电压，该支路电流只能逐渐增大，灯泡先由暗变亮；稳定后线圈电阻不计、两端电压为零，A_2 两端的电压与流过的电流由电路结构决定并保持新的稳定值，其间亮度是变化的，并非“亮起后一直不变”，B 错。

C. × 稳定后 A_1 与 A_3 亮度一样：错误

稳定后线圈电阻不计、两端电压为零，电容器充电完毕、含容支路无稳恒电流。按原卷电路结构，A_1 所在支路在稳定后仍有恒定电流通过，而 A_3 所在支路电流必为零（电容器隔直），一个亮一个不亮，亮度不可能一样，C 错。

D. √ 稳定后电容器的电荷量是 CE_1：正确

稳定后电容器支路无电流，电阻与线圈均无额外分压（线圈电阻不计、电源内阻不计），电容器两端电压等于电源电动势 E_1，故电荷量 $Q=CU=CE_1$，D 正确。



题 9 图：自感线圈 L、电容器 C 与三个相同灯泡 A_1 、A_2 、A_3 组成的电路

电路连接方式（哪个灯与 L 串、哪个与 C 串）在原卷中只有位图，A、B、C 三项的过程描述请以卷面电路图复核；D 项只需“稳定后电容两端电压等于电动势”这一条即可确定。

10. 选择题 · 3分

答案 D

详解

A. × 有无线圈，磁铁经过相同时间停止运动：错误

加装线圈后，磁铁每次靠近、远离线圈都会在其中激起感应电流，产生阻碍相对运动的电磁阻尼，机械能耗散远快于只有空气阻力的情形，因此有线圈时很快停下，时间不同，A 错。

B. × 磁铁靠近线圈时线圈有扩张趋势：错误

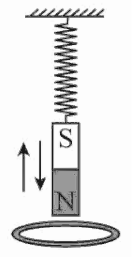
由楞次定律的推广形式“感应电流的效果总是反抗磁通量的变化”，靠近时穿过线圈的磁通量增大，线圈收缩可以减小有效面积从而阻碍磁通增大，故应有收缩趋势，B 错。

C. × 磁铁离线圈最近时线圈受到的安培力最大：错误

离线圈最近的位置恰是磁铁速度为零的最低点，此刻磁通量最大但变化率为零，感应电流为零，安培力为零（最小），C 错。

D. √ 有无线圈，系统损失的机械能相同：正确

两种情况下磁铁都从弹簧原长位置由静止释放，最终都停在同一平衡位置（重力势能、弹性势能的减少量由初末位置唯一确定）。初末状态相同，机械能损失量就相同，差别只在耗散的途径（焦耳热 vs 克服空气阻力做功），D 正确。



题 10 图：弹簧下悬挂磁铁，正下方桌面上固定闭合铜线圈

11. 选择题 · 3分

> **答案** B

详解

A. × 从 t_1 到 t_3 处于电磁弹射过程：错误

空气阻力 f 只反映速率大小。弹射阶段舱体由静止加速上升，速率增大，$|f|$ 应随之增大；图中 $t_1 \sim t_3$ 段 $|f|$ 单调减小，说明速率在减小，是离开弹射装置后的减速上升阶段，A 错。

B. √ 从 t_2 到 t_3 实验舱加速度大小减小：正确

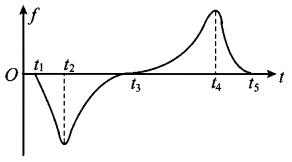
该阶段舱体仍在上升，速度向上，阻力向下，合力 $mg + |f|$ 向下。随着速率减小 $|f|$ 减小，合力大小减小，故加速度大小减小，B 正确。

C. × 从 t_3 到 t_5 舱内物体处于失重状态：错误

判断超重还是失重只看加速度方向。$t_3 \sim t_4$ 段为下落加速，加速度向下，属失重；但过了最高点之前的上升减速段与接近地面时的电磁制动段（向下减速）加速度都向上，属超重。把整个 $t_3 \sim t_5$ 笼统说成“全程失重”不成立，C 错。

D. × t_4 时刻实验舱达到最高点：错误

空气阻力大小只由速率决定，最高点处速率为零，必有 $f = 0$。图中 t_4 时刻 $|f|$ 并不为零且正在增大，说明舱体已有较大向下速率、正处于加速下落阶段，最高点应取 f 图线过零的时刻，D 错。



题 11 图：实验舱上升过程中空气阻力 f 随时间 t 的变化（向上为正，阻力恒为负值，大小随速率变化）

原卷 f-t 图为位图，五个时刻对应的具体图线走向无法从文本层读出，上述逐项判断按“$|f|$ 随速率变化、上升减速→最高点 $f = 0$→下落加速”的标准模型给出，答案是 B；读图题请务必对照卷面曲线核对 C、D 的时刻划分。

12. 选择题 · 3分

> **答案** C

详解

A. × N 点电势比 M 点高：说法正确（不选）

液体中的正、负离子随液体以速度 v 运动，受洛伦兹力 $F = qvB$ 分别向管壁两侧偏转并积累电荷，在两极端之间建立电场；平衡时 $qvB = q\dfrac{U_0}{d}$。按图示的流速方向与磁场方向用左手定则判断，正离子偏向 N 侧、负离子偏向 M 侧，故 N 点电势高于 M 点，A 说法正确。

B. × U_0 正比于流量 Q：说法正确（不选）

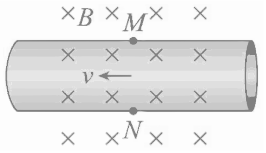
平衡时 $qvB = q\dfrac{U_0}{d}$，得 $U_0 = Bdv = Bv \cdot 2R$；而流量 $Q = vS = v\pi R^2$，消去 v 得 $U_0 = \dfrac{2BQ}{\pi R}$。管半径一定时 U_0 与 Q 成正比，B 说法正确。

C. √ 流量 Q 一定时管道半径越小 U_0 越小：说法错误（应选）

由 $U_0=\dfrac{2BQ}{\pi R}$，Q、B 一定时 U_0 与半径 R 成反比，半径越小 U_0 越大，而不是越小，C 说法错误，符合题干“下列说法错误的是”。

D. × 若直径 MN 与磁场方向不垂直，测得的流量 Q 偏小：说法正确（不选）

MN 与 B 不垂直时，沿 MN 方向的磁场分量减小为 $B_{\perp}=B\cos\alpha$，实测 U_0 偏小；而计算时仍代入完整的 B，由 $Q=\dfrac{\pi RU_0}{2B}$ 算出的流量就偏小，D 说法正确。



题 12 图：圆管内导电液体流动，外加垂直管轴的匀强磁场 B，管壁 M、N 两点为垂直磁场的直径两端

本题要求选“错误”的一项，是否决型选择题。推导核心两式：$U_0=2BRv$ 与 $Q=\pi R^2v$，联立得 $U_0=\dfrac{2BQ}{\pi R}$。

13. 选择题 · 3分

答案 A

详解

A. √ 反氢原子的基态能量也为 −13.6 eV：正确

反氢原子由正电子与反质子组成，二者质量与氢原子的电子、质子相同、电荷等量异种，库仑引力大小不变，玻尔能级公式只依赖约化质量与电荷量大小，故能级结构与氢原子完全相同，基态能量同为 −13.6 eV，A 正确。

B. × 一个中子可以转化为一个质子和一个正电子：错误

β^- 衰变中子转变为质子时放出的是电子：${}_0^1\mathrm{n}\to{}_1^1\mathrm{H}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$。若生成正电子，电荷数 $1+1=2\neq0$，违反电荷守恒，B 错。

C. × 一对正负电子等速率对撞湮灭为一个光子：错误

等速率对撞时系统总动量为零，单个光子必然携带动量 $\dfrac{h\nu}{c}\neq0$，违反动量守恒；正负电子湮灭至少产生两个方向相反的光子，C 错。

D. × 反氘核与反氘核聚变吸收能量：错误

反粒子参与的核反应与对应普通核反应遵循同样的规律，氘核聚变 ${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^2\mathrm{H}\to{}_2^3\mathrm{He}+{}_0^1\mathrm{n}$ 是放能反应（比结合能增大、有质量亏损），反氘核聚变同样放出能量，D 错。

14. 选择题 · 3分

> **答案** A

详解

A. √ 从 M 点到 N 点声波波长变长：正确

声波频率 f 由波源决定，传播过程中不变，而 $v=f\lambda$，故波长与当地声速成正比。声线总是向声速较小的一侧弯曲，图中声线向下弯向地面，说明地面附近声速小、上方声速大（夜间逆温层）。按原卷图，M 在靠近地面的声线段上、N 在较高处的声线段上，从 M 到 N 声速增大，因此 $\lambda=\dfrac{v}{f}$ 变长，A 正确。

B. × S 点气温低于地面：错误

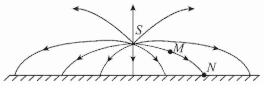
声线弯曲方向总是朝向声速较小的一侧（类似光向折射率大的介质偏折）。图中声线向下弯向地面，说明上方声速大、温度高，地面附近声速小、温度低，即 S 点气温高于地面，B 错。

C. × 忽略空气吸收则从 M 到 N 声音不减弱：错误

即使不考虑吸收，声波仍以声源为中心向空间扩散，能流密度随波阵面扩大而摊薄（球面波 $I\propto\dfrac{1}{r^2}$），加之温度梯度使声线发散，M 到 N 距离增大，响度必然减弱，C 错。

D. × 声源移至 N 点则声波到 S 一定沿原声线 NMS：错误

声线可逆的前提是介质分布不变且路径为同一条射线。将声源放在 N 点后，向 S 发射的是一束锥形声波，其中沿原路径反向的那条确实会回到 S，但“一定沿图中声线”表述过强：由于温度梯度造成的聚焦/发散，多数声线会偏离原路径，且题图声线方向由 S 发出时的几何条件决定，不能保证整条 NMS 重合，D 错。



题 14 图：高处声源 S 发出的声线弯向地面（M、N 为地面上两点）

本题原卷声线示意图为位图，M、N 的相对高低只能按“声线向下弯”这一常规夜间盘谷情景判读，A 项的“波长变长”依赖图中 M、N 的具体位置。核心判据请记牢：频率不变，v 大则 λ 大；声线向声速小（温度低）的一侧偏折。

第二部分 · 实验题（共 2 题）

15. 实验题 · 每空分值以卷面为准（本题合计约 18 分）

> **答案** （1）BC　（2）①B　②按“固定刻度 + 可动刻度×0.01 mm”读数，估读到千分位（见 tip）　（3）B

详解

(1) 第（1）空：BC A 错：用单摆测重力加速度应在摆球经过最低点（平衡位置）时释放并计时，此时速度最大、计时误差最小，在最高点速度为零难以准确判定时刻。B 对：变压器研究的是交流电压与匝数关系，须用多用电表交流电压挡。C 对：欧姆表测电阻前必须两表笔短接做欧姆调零，使指针指到电阻刻度零点。

(2) 第（2）①空：双缝放在 B 处 装置顺序为“光源→滤光片→单缝→双缝→遮光筒→屏→测量头”，必须先经单缝获得线光源，再由紧随其后的双缝获得相干光，故双缝应放在靠后的 B 处，A 处放单缝。

(3) 第（2）②空：读数＝固定刻度＋可动刻度×0.01 mm 螺旋测微器需估读到 0.001 mm。步骤：先读固定刻度（注意半毫米刻线是否露出），再读可动刻度上与基准线对齐的格数 n，最终 d = 固定刻度 $+ n \times 0.01$ mm，结果写成三位小数。示范：固定刻度 0.5 mm、可动刻度对齐 14.1 格，则 $d = 0.5 + 14.1 \times 0.01 = 0.641$ mm。

(4) 第（3）空：B（电阻 R_1 断路） 按图 3 的双量程电流表内部结构，表头 R_g 与分流电阻构成环路，R_1、R_2 分别串在不同量程引出端上。测 A、B 时表头指针不偏转，说明这条通路被切断；而测 A、C 和 B、C 时表头都能偏转，说明表头 R_g 本身完好、含 R_2 的路径也完好。唯一能同时解释三种测量结果的故障是 R_1 断路，故选 B。若 R_g 断路则接 A、C 与 B、C 时表头也不可能偏转，排除 A；若 R_2 断路则 B、C 间不通，排除 C。

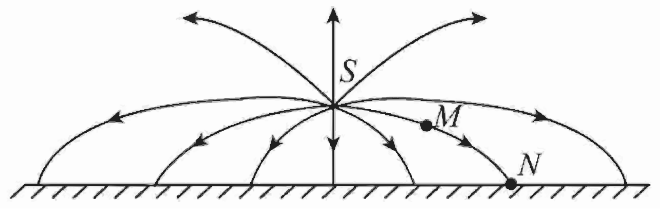


图 1：双缝干涉实验装置示意（光源、滤光片、单缝、双缝、遮光筒、屏、测量头，A、B 为两个元件位位置）

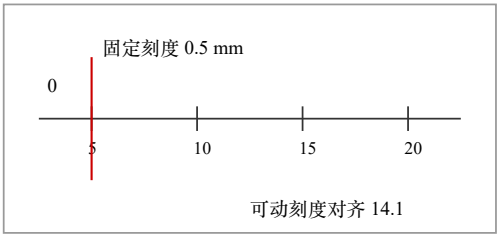


图 2（重绘示意）：螺旋测微器读数结构，仅作方法说明，实际读数须按卷面图

原卷图 2 螺旋测微器为位图，可动刻度与固定刻度的对齐情况无法从文本层读出，本册不虚构具体读数，只给出读数方法与示范算式；正式使用时必须按卷面手轮示数读出形如 ×.××× mm（最后一位为估读位）的结果。

16. 实验题 · 本题各空合计约 12 分

答案　（1）CBA　（2）左端　（3）$v = \dfrac{s_{AB} + s_{BC}}{2T}$　（4）见解析：$a = \dfrac{\Delta s}{T^2}$、$a_n = \dfrac{v_B^2}{R}$，数值须按卷面纸带读数代入

详解

(1) 第（1）空：CBA 实验步骤要先把器材调到可用状态再打点：先调整滑轮位置使细线与木板平行（C），保证小车做匀加速直线运动且拉力方向恒定；然后接通打点计时器电源（B），待打点稳定后再释放小车（A）。若先释放后通电，纸带前面一段将没有点子甚至打不出点，故顺序为 C→B→A。

(2) 第（2）空：左端 小车拖动纸带做加速运动，相等时间内位移越来越大，所以与小车相连的一端是先打出的点，点迹较密。由图 2 可见从左到右相邻计数点间距逐渐增大（$s_{AB} < s_{BC}$），左端是最早打出的点，故纸带左端与小车相连。

(3) 第（3）空：$v_B=\dfrac{s_{AB}+s_{BC}}{2T}$ 匀变速直线运动中某段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度，B 是 A 到 C 时间段的中间时刻，故

$$v_B=\frac{s_{AC}}{2T}=\frac{s_{AB}+s_{BC}}{2T}$$

式中 T 为相邻计数点的时间间隔（相邻计数点间有 4 个点未画出时 $T=5\times0.02\ \text{s}=0.10\ \text{s}$）。

(4) 第（3）空：0.40 m/s² 与 0.40 m/s²（算法见 reason，数值须按卷面读数重算） 先求纸带的加速度：由逐差法

$$a=\frac{\Delta s}{T^2}$$

用图 4 中相邻两段位移之差 Δs 除以 $T^2=0.10^2=0.01\ \text{s}^2$。纸带固定在圆盘边缘，故纸带加速度就是圆盘边缘的切向加速度。再求 M 点的向心加速度：读出打 B 点时纸带速度

$$v_B=\frac{s_{AB}+s_{BC}}{2T}$$

代入

$$a_n=\frac{v_B^2}{R}=\frac{v_B^2}{0.10}\ \text{m/s}^2$$

两问结果均保留两位有效数字。

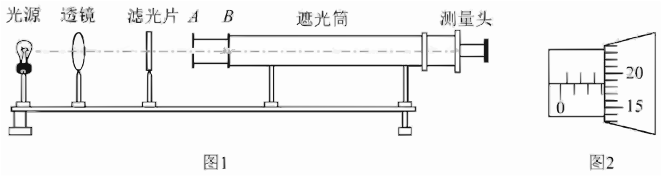


图 1：打点计时器研究匀变速直线运动的实验装置

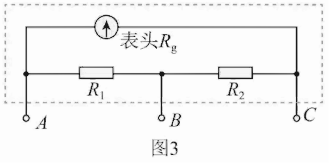


图 2：纸带上依次选取的计数点 A、B、C

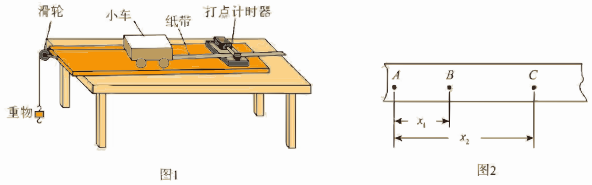


图 3 / 图 4：纸带固定在圆盘边缘 M 点、圆盘带动纸带的装置与所得纸带

图 2、图 4 两条纸带上的点距在 PDF 文本层里没有数值，本册不虚构读数：第（4）问只给出算法 $a=\dfrac{\Delta s}{T^2}$ 与 $a_n=\dfrac{v_B^2}{R}$（$R=0.10$ m、$T=0.10$ s），请用卷面刻度尺读数代入并保留两位有效数字。前两空（CBA、左端）与第（3）空的表达式不依赖读数，可直接采用。

第三部分 · 计算题（共 4 题）

17. 计算题 · 约 10 分

答案　（1）$v_0 = gt$　（2）$v_B = 2v$　（3）$d = 3vt$

详解

(1) 第（1）问：抛出时初速度 $v_0 = gt$ 不计空气阻力，物体做竖直上抛，到最高点时速度为零。由 $0 = v_0 - gt$ 得

$$v_0 = gt$$

同时可得上升的最大高度 $h = \frac{1}{2}gt^2$，这是第（3）问自由落体时间的依据。

(2) 第（2）问：炸裂后瞬间 B 的速度 $v_B = 2v$ 炸裂发生在最高点，物体整体速度为零，内力（爆炸力）远大于重力，水平方向动量守恒：

$$0 = 2m \cdot \quad v + m \cdot \quad v_B'$$

解得 $v_B' = -2v$，负号表示 B 与 A 反向，故 B 的速度大小为

$$v_B = 2v$$

（竖直方向炸裂前后均无速度，两部分的初速度都是水平的。）

(3) 第（3）问：A、B 落地点间距离 $d = 3vt$ 两部分都从最高点做平抛，下落高度相同 $h = \frac{1}{2}gt^2$，所以下落时间相同：

$$t' = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times \frac{1}{2}gt^2}{g}} = t$$

水平方向都做匀速运动，且 A、B 反向飞出，落地间距

$$d = x_A + x_B = vt' + 2vt' = 3vt$$

因两落地点与抛出点在同一水平直线上分居两侧，直线距离即等于水平位移之和 $3vt$。

关键点：最高点速度为零⇒爆炸前后总动量为零，故 $v_B = 2v$；上升时间与下落时间相等（均为 t），因此 $d = x_A + x_B = vt + 2vt = 3vt$。

18. 计算题 · 约 10 分

> **答案**　（1）$T=\dfrac{2\pi m}{q_0B}$，与速率无关　（2）a．$v_1:v_2=R\theta:d$　b．$p_2=\dfrac{qBd}{\theta}$

详解

(1) 第（1）问：推导 T 与 m 的关系 粒子速度与磁场垂直时，洛伦兹力提供向心力：

$$q_0vB=m\frac{v^2}{R}$$

得轨道半径 $R=\dfrac{mv}{q_0B}$。周期为周长除以速率：

$$T=\frac{2\pi R}{v}=\frac{2\pi}{v}\cdot\frac{mv}{q_0B}=\frac{2\pi m}{q_0B}$$

可见周期只与粒子的比荷和磁感应强度有关，与速率、半径无关——这正是谱仪用飞行时间区分质量的基本原理。

(2) 第（2）a 问：$v_1:v_2=R\theta:d$ 设经历的时间为 t。粒子 1 垂直磁场做匀速圆周运动，转过圆心角 θ，走过的弧长为 $s_1=R\theta$，故 $v_1=\dfrac{R\theta}{t}$。粒子 2 的速度与磁场平行，不受洛伦兹力，沿磁场方向做匀速直线运动，$v_2=\dfrac{d}{t}$。因此

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{R\theta/t}{d/t}=\frac{R\theta}{d}$$

即 $v_1:v_2=R\theta:d$。

(3) 第（2）b 问：粒子 2 的动量大小 由 a 问 $v_1=\dfrac{R\theta}{t}$、$v_2=\dfrac{d}{t}$，消去共同时间得 $t=\dfrac{R\theta}{v_1}$。又由粒子 1 的半径公式 $R=\dfrac{mv_1}{qB}$ 得 $v_1=\dfrac{qBR}{m}$，代回：

$$t=\frac{R\theta}{v_1}=\frac{R\theta m}{qBR}=\frac{m\theta}{qB}$$

于是

$$v_2=\frac{d}{t}=\frac{dqB}{m\theta},\qquad p_2=mv_2=\frac{dqB}{\theta}$$

即粒子 2 的动量大小为

$$p_2=\frac{qBd}{\theta}$$

由测得的弧长对应的 θ 与直线距离 d 就可推出动量，这就是磁场谱仪测动量的思路。

> 注意 θ 用弧度制；粒子 2 因速度与磁场平行而不受洛伦兹力，做匀速直线运动。b 小问务必先用粒子 1 的半径公式消去共同时间 t，再得 $p_2=mv_2=\dfrac{qBd}{\theta}$。

19. 计算题 · 约 14 分

答案　（1）$W = fx + \frac{1}{2}mv^2$　（2）$d = \frac{a_2}{a_1 + a_2}L$　（3）模型得 $F = \rho S(1-\cos\theta)u^2$，故 $F \propto u^2$，$\alpha = 2$

详解

(1) 第（1）问： $W = fx + \frac{1}{2}mv^2$ 对飞机应用动能定理，合外力做功等于动能增量：

$$W - fx = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

解得牵引力做的功

$$W = fx + \frac{1}{2}mv^2$$

(2) 第（2）问： $d = \frac{a_2}{a_1 + a_2}L$ 设飞机加速到距起点 d 处时速度为 v，则 $v^2 = 2a_1 d$。放弃起飞后以最大加速度 a_2 减速，还能滑行 $x' = \frac{v^2}{2a_2} = \frac{a_1}{a_2}d$。临界条件是恰好停在跑道末端：

$$d + x' = L \;\Rightarrow\; d + \frac{a_1}{a_2}d = L$$

解得

$$d = \frac{a_2}{a_1 + a_2}L$$

超过该位置，即使立刻全力减速也会冲出跑道，故称“不可拒绝起飞点”。

(3) 第（3）问：建立气流模型，论证 $F \propto u^2$，$\alpha = 2$ 模型：在飞机参考系中，密度为 ρ 的气流以速率 u 水平迎面而来，单位时间内打在机翼正面投影面积 S 上的空气质量为

$$m_0 = \rho S v = \rho S u$$

取竖直方向分析：入射气流竖直动量为零；气流被机翼偏转后沿与水平成 θ 角向后下方流出，其竖直分速度为 $u_y = u\sin\theta$（若按“气流被折向后方、竖直分量由 0 变为 $u(1-\cos\theta)$ 量级”的另一常见写法，结论幂次不变）。每秒获得向下动量

$$\Delta p_y = m_0\, u \sin\theta = \rho S u^2 \sin\theta$$

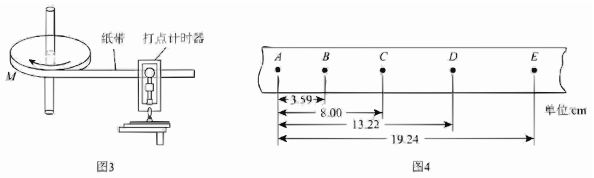
由动量定理，机翼对气流的作用力大小 $F' = \frac{\Delta p_y}{\Delta t} = \rho S \sin\theta \cdot \; u^2$；由牛顿第三定律，气流对机翼的反作用力（含竖直向上的升力分量）为

$$F = \rho S \sin\theta \cdot \; u^2 \quad (\text{或写成 } F = \rho S(1-\cos\theta)u^2)$$

其中 ρ、S、θ 在同一飞行状态下均为常量，故

$$F \propto u^2$$

即 $\alpha = 2$。



题 19（3）图：气流掠过机翼后改为沿机翼向后下方运动

第（3）问是开放性建模题，阅卷看重“取时间元→求质量流率→用动量定理→牛顿第三定律”这条链是否完整，θ 的定义方式允许不同写法，但幂指数必须是 $\alpha=2$。原卷图中气流偏转角未标数值，故 F 的比例系数不必求出。

20. 计算题 · 约 14 分

答案　（1）$W=QU$　（2）$|E_3-E_2|$ 小于 $|E_2-E_1|$，即半径越大相邻轨道的总能量差越小　（3）$E\approx 1.3\times10^{11}$ V/m（数量级 10^{11} V/m）

详解

(1) 第（1）问： $W=QU$ 静电力做功只与初末位置的电势差有关：

$$W=Q\,U_{BA}$$

电荷量为 Q 的负电荷从 B 极附近运动到 A 极，经历的电势差大小为 U，电场力方向与位移方向一致，做正功，故

$$W=QU$$

(2) 第（2）问： $E_3-E_2<E_2-E_1$ 粒子由径向电场力提供向心力做匀速圆周运动：$qE=m\dfrac{v^2}{r}$，其中 $E=\dfrac{k\lambda}{r^2}$，于是动能

$$E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}qEr=\frac{qk\lambda}{2r}$$

电势能方面，由 $\dfrac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}r}=-E=-\dfrac{k\lambda}{r^2}$ 积分得 $\varphi(r)=\dfrac{k\lambda}{r}+$ 常量，故电势能 $E_p=q\varphi$ 也按 $\dfrac{1}{r}$ 变化。总能量因此可统一写成

$$E(r)=E_k+E_p=\frac{C}{r}$$

（C 为与 q、$k\lambda$ 及参考点有关的常量）。设 $r_3-r_2=r_2-r_1=\Delta r$，则

$$E_2-E_1=C\left(\frac{1}{r_2}-\frac{1}{r_1}\right)=-C\frac{\Delta r}{r_1r_2},\qquad E_3-E_2=-C\frac{\Delta r}{r_2r_3}$$

因 $r_3>r_1$，有 $\dfrac{\Delta r}{r_2r_3}<\dfrac{\Delta r}{r_1r_2}$，即 $\dfrac{1}{r}$ 随 r 等间距增大而减小得越来越慢（函数上凸），所以相邻能级差的绝对值随半径增大而减小，结论为

$$|E_3-E_2|<|E_2-E_1|$$

亦即半径越大，相邻轨道的总能量差越小。

(3) 第（3）问： $E \approx 1.3 \times 10^{11}\ \mathrm{V/m}$ 模型：外电场沿轨道方向（最有利的电离取向）对电子做功，把电子从基态轨道“拉”到无穷远。基态氢原子电离能为 $|E_0| = 13.6\ \mathrm{eV}$。设外电场强度为 E，电子越过约一个轨道直径的距离内电场力做功至少补偿电离能：

$$eE \cdot 2a_1 \geq |E_0|$$

解得

$$E \geq \frac{|E_0|}{2ea_1} = \frac{13.6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 5.3 \times 10^{-11}}\ \mathrm{V/m} = \frac{13.6}{2 \times 5.3 \times 10^{-11}}\ \mathrm{V/m} \approx 1.3 \times 10^{11}\ \mathrm{V/m}$$

若按“电场力在一个轨道半径尺度上做功”估算，即 $eEa_1 \geq |E_0|$，则 $E \approx 2.6 \times 10^{11}\ \mathrm{V/m}$；再考虑库仑引力与外场抗衡的精细模型，量级仍在 $10^{11}\ \mathrm{V/m}$。各口径都表明所需外场远超空气击穿场强，这解释了为什么必须在 B 极（细金属线）附近的极强局部电场中才能使空气分子电离。

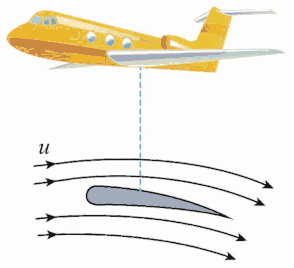


图 1：金属圆筒 A 接正极、轴线上金属线 B 接负极（静电除尘装置原理）

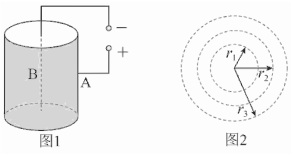


图 2：圆筒横截面上粒子绕轴线做不同半径的匀速圆周运动

第（2）问的关键一步是把总能量写成 $E(r) = \dfrac{C}{r}$（动能与电势能都按 $1/r$ 变化），再用 $\dfrac{1}{r}$ 的凸性比较差值；题面只要求“推理分析并比较大小”，故本册结论以定性不等式给出，未虚构数值。第（3）问合理模型不唯一（做功距离取 a_1 还是 $2a_1$、是否计入库仑力平均值），本册按 $eE \cdot 2a_1 \geq 13.6\ \mathrm{eV}$ 给出 $E \approx 1.3 \times 10^{11}\ \mathrm{V/m}$ 的量级结论，课堂上应强调这是“数量级论证”。