

高中物理精题集

马祥芸

October 13, 2024

Contents

1 高一	4
1.1 2022-2023 年度 (下) 重庆八中高一期末	4
1.1.1 I-7: 荷质比问题	4
1.1.2 II-9: 不同类型的碰撞	4
1.1.3 II-10: 匀强电场下的斜射	5
1.1.4 III-1: 实验中的 Q/U-t 图像	6
1.2 2022-2023 育才中学期末模拟题 (八)	7
1.2.1 I-4: 关联体旋转运动分析	7
1.2.2 I-7:P-t 图问题	8
1.2.3 II-8: 水平内的碰撞 + 环形追及问题	9
1.2.4 II-9: 外轨道圆周运动问题	10
1.2.5 III-12: 动量守恒实验-圆弧约束	10
1.2.6 IV-2: 平抛-圆弧约束的最值问题	11
1.3 2022-2023 巴蜀中学下学期期末	12
1.3.1 I-13: 电路中的变化量分析	12
1.3.2 II-2: 电路的测量误差	13
1.4 2022-2023 南开中学高一下期末	14
1.4.1 I-6: 光的几何表示问题	14
1.4.2 I-8: 单摆 + 受迫振动	15
1.4.3 I-10: 折射率问题	16
1.5 2022-2023 育才中学期末模拟题 (六)	18
1.5.1 II-3: 水平初动量不为 0 的杆相互作用模型	18
1.6 2022-2023 育才中学期末模拟题 (三)	19
1.6.1 I-6: 调和定律-新颖题目	19
1.6.2 II-3: 连续弹碰 (牛顿摆)	19
1.7 2022-2023 一中高一下期末	20
1.7.1 III-1: 折射率实验	20
1.8 2024 育才高一下期末	20
1.8.1 I-1: 飞机功率计算问题	20
1.8.2 III-1: 纸带钩码研究动能定理	21
2 高二	21
2.1 机械振动专题	21
2.1.1 I-1: 起振方向未知的多解问题	21
2.1.2 I-2: 球面波干涉图像问题	22
2.1.3 I-3: 球面波非干涉图像问题	23
2.1.4 I-4: 折射率几何求解	23
2.1.5 II-1: 平面波干涉图像问题	24
2.1.6 II-2: 斜面弹簧组合体简谐振子	24
2.1.7 IV-1: 干涉计算	25
2.2 原子核物理	26
2.2.1 I-1: 不同原子核的平均值质量和	26
2.2.2 II-1: 比结合能大小与能量吸收释放	26
2.3 热学	26
2.3.1 I-1: 三管连通器	26
2.3.2 I-2: 液泡上浮问题	27
2.3.3 I-3: 图像计算	27
2.3.4 I-4: 液柱动力学问题	27
2.3.5 I-5: 等体两气挤压问题	28

2.3.6	I-5: 斜试管等体变化液面移动与稳态分析	28
2.3.7	I-6: 等压液面移动问题	29
2.3.8	I-7: 试管移动问题	29
2.3.9	I-8: 液面移动综合分析	30
2.3.10	I-9: 充气问题	30
2.3.11	I-10: 物理现象中的热力学定律问题	31
2.3.12	I-11: 热力学定律的图像问题 1	31
2.3.13	I-12: 热力学定律的图像问题 2	32
2.3.14	I-13: 热力学定律的图像问题 3	32
2.3.15	I-14: 热力学定律的图像问题 4	32
2.3.16	I-15: 热力学定律的图像问题 5	33
2.3.17	I-16: 热力学定律的图像问题 6	33
2.3.18	IV-1: 放气问题	33
2.3.19	IV-1: 单试管加液问题	34
2.3.20	IV-2: 单试管液柱加速问题	34
2.3.21	IV-3: 单试管多过程问题	35
2.3.22	IV-4: 单试管多过程问题 2	35
2.3.23	IV-5: 气缸多过程问题	36
2.3.24	IV-6: L型试管分类讨论问题	36
2.3.25	IV-7: L型试管分类讨论问题 2	37
2.3.26	IV-8: 挤压液体临界情况分析	37
2.3.27	IV-9: 双气缸平衡问题	38
2.3.28	IV-10: 双气缸平衡问题 2	38
2.3.29	IV-11: 双活塞平衡问题	39
2.3.30	IV-12: 双活塞漏气问题	39
2.3.31	IV-13: U型管问题	40
2.3.32	IV-14: U型管移动问题	40
2.3.33	IV-15: 不同粗细 U型管的活塞移动问题	41
2.3.34	IV-16: 不同粗细 U型管的活塞移动问题 2	41
2.3.35	IV-17: 不同截面积双气缸活塞问题	42
2.3.36	IV-18: 不同截面积单气缸活塞问题	42
2.3.37	IV-19: 不同截面积单气缸活塞问题 2	43
2.3.38	IV-20: 热力学第三定律做功计算	43
3	高三	44
3.1	2023 届巴蜀中学高考适应性月考 (十)	44
3.1.1	I-6: 同步卫星	44
3.1.2	II-1: 简谐波的图像问题	44
3.1.3	II-3: 动生电动势的平均值问题	45
3.1.4	IV-1: 均匀滴落的沙漏问题	46
3.1.5	IV-2: 折射率几何大题	46
3.1.6	IV-3: 磁聚焦 + 区域面积问题	47
3.2	2024 八中高考适应性月考 (六)	48
3.2.1	I-1: 万有引力航天	48
3.2.2	I-2: 电势计算	48
3.2.3	II-1: 纯电阻动生电动势杆模型	49
3.2.4	IV-1: 变质量多次碰撞与数列	49
3.3	2024 八中高考适应性月考 (七)	50
3.3.1	I-1: 霍尔元件	50
3.3.2	II-1: 弹簧与杆环模型	51
3.3.3	III-2: 电容测量实验	51
3.4	2024 巴蜀高考适应性月考 (八)	52
3.4.1	I-1: 摩擦力和接触面的大小关系	52
3.4.2	II-1: 电容器中带电粒子的偏转问题	53
3.4.3	II-2: 匀速运动的磁场切割问题	54
3.4.4	IV-1: 非特征性动量守恒与周期性运动	55
3.5	2024 八中高考适应性月考 (五)	55
3.5.1	I-1: 质子数-中子数元素衰变图	55
3.5.2	I-2: 隐含全反射考察	56
3.5.3	II-1: 双约束磁场周期问题	56
3.5.4	III-1: 热力学漏气实验题	57
3.6	yh 五月大区考	58

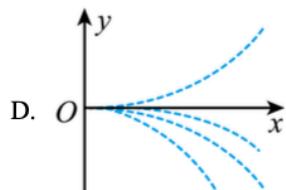
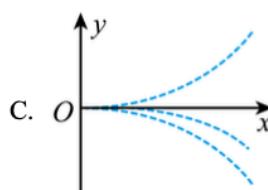
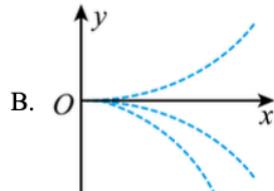
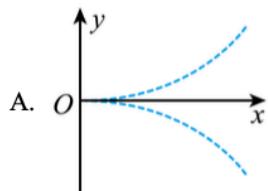
3.6.1	IV-1: 重叠体的静摩擦力判断	58
3.7	24 南开高三物理质量检测 (九)	59
3.7.1	II-1: 变比系数变化的动态分析	59
3.8	2024 八中高考适应性月考 (三)	60
3.8.1	II-1: $\phi - \theta$ 匀强电场计算	60
3.8.2	II-2: 速度反向判断	61
3.8.3	IV-1: 金属球碰撞的电荷守恒	61
3.9	2024 八中高考适应性月考 (二)	63
3.9.1	III-I: 动量守恒实验水平摩擦力	63
3.10	2024 巴蜀高考模拟 (十)	64
3.10.1	I-1: 天体运动观察角问题	64
3.10.2	IV-1: 电容电阻动生电动势问题	65
3.10.3	IV-2: 动量守恒与弹簧势能	66
3.11	七校三诊 (攘江中学)	67
3.11.1	I-1: 机械波的某质点振动方程问题	67
3.11.2	I-2: 双球杆连接的运动过程分析	67
3.11.3	II-1: 变压器的动态分析	68
3.11.4	II-2: 存在外力电容式动生电动势	68
3.11.5	IV-1: 热力学的准静态做功计算	69
3.11.6	IV-2: 洛伦兹力分量动量定理	70
3.12	yh 六月大区考	71
3.12.1	I-1: 匀变速运动学 ($x-t$)	71
3.12.2	I-2: 匀变速运动学图像结合万有引力	71
3.12.3	I-3: 弹簧过程中的图像问题	72
3.12.4	II-1: 势能图像的运动学问题	73
3.12.5	IV-1: 机械波两质点的运动方向问题	73
3.12.6	IV-2: 碰撞反向通过传送带变向	74
3.13	yh 七月大区考 (2023 南开高三 7)	74
3.13.1	I-1: 电容在接入电路中状态分析	74
3.13.2	I-2: 牛顿环, 偏振镜头与增透增反膜	75
3.13.3	II-2: 简谐振动双图的路程计算	76
3.13.4	III-1: 力的合成实验	77
3.13.5	IV-1: 变质量多次碰撞	78

1 高一

1.1 2022-2023 年度 (下) 重庆八中高一期末

1.1.1 I-7: 荷质比问题

7. 四个带电粒子的电荷量和质量分别是 $(+q, m)$ 、 $(+q, 2m)$ 、 $(+3q, 3m)$ 和 $(-q, m)$ ，它们由静止开始经过大小相同的电压加速后从坐标原点沿 x 轴正方向射入一匀强电场中，电场方向与 y 轴平行，不计重力和粒子间的作用力，下列描绘这四个粒子运动轨迹的图像中，可能正确的是（ ）



第2页/共7页

- 正解: A
- 总结: 最终要给出轨迹方程, 即 $y = f(x)$, 同时注意电荷的正负性决定着轨迹函数所在的区间
- 扩展: 荷质比相关题目, 粒子回旋加速器、粒子速度筛选器等

1.1.2 II-9: 不同类型的碰撞

9. 质量为 m , 速度为 v 的 A 球跟质量为 $3m$ 的静止 B 球发生正碰, 碰后 B 球的速度可能是（ ）

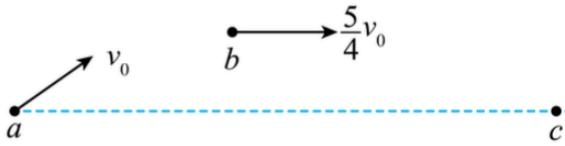
- A. $0.1v$ B. $0.3v$ C. $0.5v$ D. $0.7v$

- 正解: BC
- 总结: 容易用不等式解法去求得 $3m$ 物块的最大速度, 但是无法计算最小速度。事实上 $3m$ 物体碰后的速度区间取决于碰撞过程中的动能损失程度。
 - 弹性碰撞 (完全弹性碰撞), 系统机械能损失最小, 获得被碰物体最大速度

- 非弹性碰撞, 系统机能损失, 特点是碰后两物块分离
- 完全非弹性碰撞, 碰撞后物体“粘连” $\Rightarrow mv_0 = (m + 3m)v'$ 在一起, 系统动能损失最大, 被碰物体获得最小速度。

1.1.3 II-10: 匀强电场下的斜射

10. 如图所示, 在水平向右的匀强电场中一带正电粒子受重力和电场力作用在竖直平面内运动。粒子运动过程中先后经过 a 、 b 、 c 三点, 其中 a 、 c 两点在同一水平线上。粒子在 a 点的速度大小为 v_0 , 方向与加速度方向垂直; 粒子在 b 点的速度大小为 $\frac{5}{4}v_0$, 速度方向平行于 ac 连线。已知粒子质量为 m 、电荷量为 q , 重力加速度为 g , 则下列说法正确的是 ()



- A. 电场强度的大小为 $\frac{3}{4}mg$
- B. 粒子在 c 点的速度大小为 $\frac{\sqrt{13}}{2}v_0$
- C. 粒子从 a 点运动到 c 点合外力^④ 冲量大小为 $\left(\frac{\sqrt{13}}{2}-1\right)mv_0$
- D. 粒子从 a 点运动到 c 点电场力的冲量大小为 $\frac{9}{10}mv_0$

• 正解: *BD*

• 总结:

- 选项 A

重点在于粒子在 a 点时的速度方向与加速度方向垂直。因此 b 点的速度在初速度方向的投影 与初速度的大小一致。由此可以求得初始速度方向与水平方向的夹角 θ 。再通过相同时间内 ($a \rightarrow b$), 重力冲量与电场力冲量下对两个方向的动量改变量, 获得的两个方程消去时间 Δt , 得到 Eq 与 mg 的数量关系 (选项 A 量纲错误)。

$$\begin{cases} mg \cdot \Delta t = mv_0 \cdot \sin \theta \\ Eq \cdot \Delta t = \frac{5}{4}mv_0 - mv_0 \cdot \cos \theta \end{cases}$$

- 选项 B

在同一水平面上, $a \rightarrow c$ 的时间为 $a \rightarrow b$ 的时间的两倍 (竖直运动的对称性)。

$$mg \cdot t = 2mv_0 \sin \theta \Rightarrow t = \frac{6v_0}{5g}$$

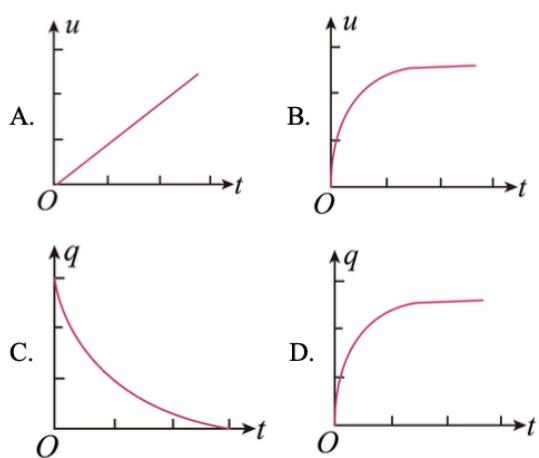
$$mv_x - mv_0 \cos \theta = Eq \cdot t \quad (Eq = \frac{3}{4}mg)$$

计算合速度可以先使用水平方向上的冲量定理计算出水平方向上的速度。或者直接用动能定理 (重力势能不变), 计算出 $a \rightarrow c$ 的水平距离, 进而得到电场力做功。

1.1.4 III-1: 实验中的 Q/U-t 图像

(3) 在充电过程中, 电容器两端电压为 u 、电容器电荷量为 q , 充电时间为 t , 则下列图像中它们之间的关系可能正确的是_____ (填正确答案标号)。

第9页/共18页



- 正解: BD
- 总结: 电容器的电压并非一瞬间就获得, 同样是电荷累计的结果

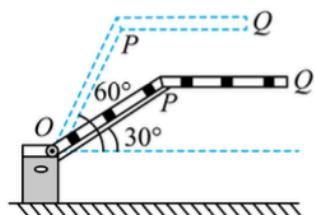
1.2 2022-2023 育才中学期末模拟题 (八)

1.2.1 I-4: 关联体旋转运动分析

4. 由于高度限制, 车库出入口采用图所示的曲杆道闸, 道闸由转动杆 OP 与横杆 PQ 链接而成, P 、 Q 为横

第3页/共22页

杆的两个端点。在道闸抬起过程中, 杆 PQ 始终保持水平。杆 OP 绕 O 点从与水平方向成 30° 匀速转动到 60° 的过程中, 下列说法正确的是 ()



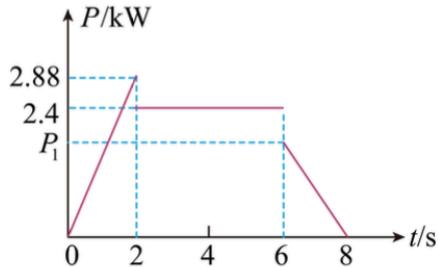
- A. Q 点在竖直方向做匀速运动
 - B. Q 点在水平方向做匀速运动
 - C. P 点的线速度大小不变
 - D. P 点的加速度方向不变
- 正解: C
 - 总结: 选出正确答案并不难, 本质是 $\omega_{//}$
 - 扩展: 进一步思考本题, P 点的运动为匀速圆周运动, 因此其坐标 (x, y) 是可以被表示的.

$$P(x, y) = (\cos(\omega t + \varphi_0), \sin(\omega t + \varphi_0))$$

同时 Q 点的坐标也是可以被表示的, 存在几何约束, P 到 Q 的距离为固定值线段 $\overline{PQ} = L$, 显然 Q 也是做匀速圆周运动圆心为距离圆心 O 右侧 L 处, 且角速度小于 P 点.

1.2.2 I-7:P-t 图问题

7. 一个质量为 m 的乘客乘坐电梯, 由静止开始上升, $0 \sim 2\text{ s}$ 做匀加速运动, $2 \sim 6\text{ s}$ 做匀速运动, $6 \sim 8\text{ s}$ 做匀减速运动。整个过程电梯对乘客的支持力做功的功率图象如图所示。其中 $g = 10\text{ m/s}^2$, 则下列说法正确的是 ()



- A. 乘客的质量 $m = 120\text{ kg}$
- B. 在第 4 s 末电梯的速度 $v = 8\text{ m/s}$
- C. 图中的 $P_1 = 1.92\text{ kW}$
- D. 整个过程中乘客克服重力做功的平均功率为 2.4 kW

- 正解: C
- 总结: 此题分为三个阶段, 同时存在一个重要的速度节点, 即 $t = 2\text{ s}$ 时的速度. 所列方程众多, 因此理清阶段, 以及要求的目标量.

$$\begin{cases} P_1 = N \cdot a \cdot t = 2880w \\ P_2 = mg \cdot a \cdot t = 2400w \end{cases}$$

选项 D, 可以有两种思路; 第一种: 计算出位移, 得到重力势能做功. 第二种 $P - t$ 图所围成的面积为支持力做功的平均功率, 在此过程中无其他力做功且初末动能均为 0, 因此支持力做功的平均功率等于克服重力做功的平均功率.

$$W = 1920j + 2880j + 9600j \quad t_{total} = 8s \quad \bar{P} = \frac{W}{t_{total}} = 1.8kw$$

- 扩展:

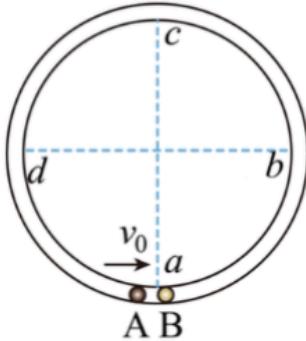
$$P = N \cdot v \quad v = v_0 + at \quad v_0 = 0 \quad a = \frac{N - mg}{m} \quad (1)$$

$$P = \frac{N(N - mg)}{m}t \quad k = \frac{N(N - mg)}{m} \quad (2)$$

1.2.3 II-8: 水平内的碰撞 + 环形追及问题

8. 在一个水平桌面上固定一个内壁光滑的半径为 R 的管形圆轨道，俯视如图所示， a 、 b 、 c 、 d 为圆上两条直径的端点，且 ac 与 bd 相互垂直。在内部放置 A、B 两个小球（球径略小于管径，管径远小于 R ），质量分别为 m_A 、 m_B ，开始时 B 球静止于 a 点，A 球在其左侧以 v_0 的初速度向右与 B 球发生第一次碰撞且被反弹。已知小球之间的碰撞均为对心弹性碰撞，第二次碰撞发生在 b 点。则下列说法中正确的是

()



- A. A、B 两球的质量比为 $m_A : m_B = 3:5$
 - B. 若只增大 A 球的初速度 v_0 则第二次碰撞点可能在 b 、 c 之间某处
 - C. 若只增大 A 球的质量 m_A 则第二次碰撞点可能仍在 b 处
 - D. 若只增大 A 球的质量 m_A 则第一、二次碰撞时间间隔不可能大于 $\frac{2\pi R}{v_0}$
- 正解: CD
 - 总结: 此物理情景发生在水平桌面上, 所以不用考虑重力. 所以本质是一个追及问题。同时第二次碰撞满足三个方程, 第一个方程控制碰撞约束, 第二、三个方程控制具体碰撞点

$$\begin{cases} v_A t + v_B t = 2\pi R \\ v_B t = \frac{\pi}{2} \\ v_A t = \frac{3\pi}{2} \end{cases}$$

选项 B, 通过前面的计算碰撞发生的时间为 $t = \frac{2\pi R}{v_0}$ 仅仅与 v_0 有关, 但碰后的速度也发生了变化, 因此我们需要设出碰撞时的角度 (这里取与水平线上为 α), 计算出该角度的函数表达式 (关于初速度质量等)

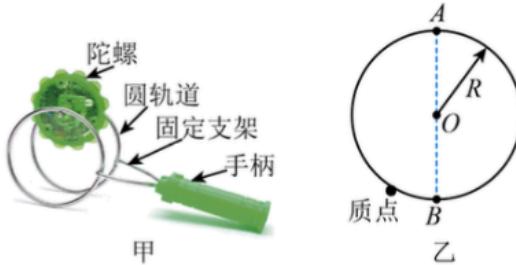
$$\begin{cases} v_A t = (\frac{3\pi}{2} - \alpha)R \\ v_B t = (\frac{\pi}{2} + \alpha)R \\ v_A = \frac{m_B - m_A}{m_A + m_B} v_0 \\ v_B = \frac{2m_A}{m_A + m_B} v_0 \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{7\pi}{2} \cdot \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B}$$

其碰撞点与初速度无关所以 B 错, 与质量相关, 当碰撞点在 b 时存在球 A 反向碰撞 (题目初始情况) 与球 A 同向被套圈碰撞, 所以 C 对, 满足 $m_A : m_B = 5 : 3$

1.2.4 II-9: 外轨道圆周运动问题

10. 有一种被称为“魔力陀螺”的玩具如图甲所示，陀螺可在圆轨道外侧旋转而不脱落，好像轨道对它施加了魔法一样，它可等效为一质点在圆轨道外侧运动模型，如图乙所示。在竖直平面内固定的强磁性圆轨道半径为 R ， A 、 B 两点分别为轨道的最高点与最低点。质点沿轨道外侧做完整的圆周运动，受圆轨道的强磁性引力始终指向圆心 O 且大小恒为 F ，当质点以速率 $v = \sqrt{gR}$ 通过 A 点时，对轨道的压力为其重力的 7 倍，不计摩擦和空气阻力，质点质量为 m ，重力加速度为 g ，则（）



- A. 强磁性引力的大小 $F = 7mg$
 - B. 质点在 A 点对轨道的压力小于在 B 点对轨道的压力
 - C. 只要质点能做完整的圆周运动，则质点对 A 、 B 两点的压力差恒为 $6mg$
 - D. 若强磁性引力大小为 F ，为确保质点做完整的圆周运动，则质点通过 B 点的最大速率为 $\sqrt{6gR}$
- 正解: ACD
 - 总结注意是外轨道，进行受力分析

1.2.5 III-12: 动量守恒实验-圆弧约束

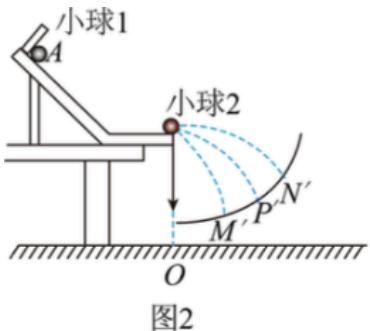


图2

(3) 完成上述实验后，实验小组成员小红对上述装置进行了改造，小红改造后的装置如图 2 所示。使小球 1 仍从斜槽上 A 点由静止滚下，重复实验步骤 1 和 2 的操作，两球落在以斜槽末端为圆心的 $\frac{1}{4}$ 圆弧上，平均落点为 M' 、 P' 、 N' 。测量轨道末端到 M' 、 P' 、 N' 三点的连线与水平方向的夹角分别为 α_1 、 α_2 、 α_3 ，则验证两球碰撞过程中动量守恒的表达式为 _____ (用所测物理量的符号表示)。

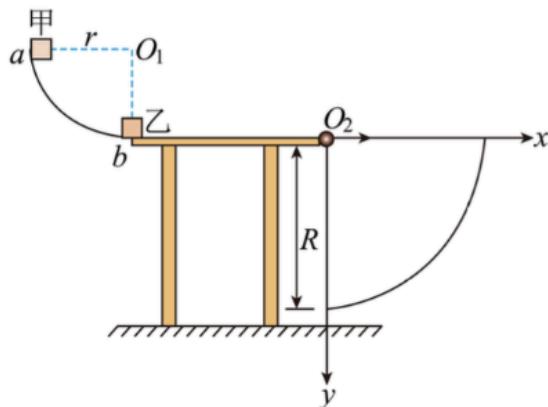
- 总结: 夹角 α 为位移偏转角。这类题目已知位移偏转角同时还有几何约束那么易得

$$\begin{cases} x = R \cos \alpha = v_x t \\ y = R \sin \alpha = \frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow v_x = \sqrt{\frac{gR}{2}} \cdot \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{\sin \alpha}} \iff v_x \propto \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{\sin \alpha}}$$

1.2.6 IV-2: 平抛-圆弧约束的最值问题

14. 如图所示, 半径为 $r = h$ 的四分之一光滑圆弧 ab 与水平桌面相切于 b 点 (其中 O_1a 水平, O_1b 竖直), 水平桌面 bO_2 的长度为 $s = 2h$, 以 O_2 点为圆心, 半径为 $R = \sqrt{3}h$ 的四分之一圆弧分别与水平 x 轴, 竖直 y 轴相交。位于 a 点甲物块的质量为 m , 位于 b 点的乙物块的质量可调整变化。乙物块与水平桌面之间的动摩擦因数为 $\mu = 0.25$ 。不计空气阻力, 重力加速度为 g 。甲、乙物块均可视为质点, 两物块碰撞时无机械能损失, 且碰撞时间极短。求:
- (1) 甲物块由 a 点静止释放, 甲物块即将与乙物块碰撞前对圆弧的压力多大;
 - (2) 甲物块每次都是从 a 点释放, 通过调整乙物块的质量, 甲乙物块碰撞后乙物块获得的速度不同, 落到圆弧上速度也会发生变化。若某次乙物块落到圆弧上的速度最小, 则乙物块从圆心 O_2 平抛的初速度多大?
 - (3) 上述 (2) 中乙物块的质量为多大?

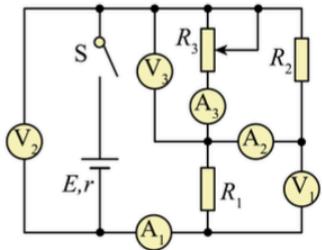


- 正解: (1) $3mg$ (2) \sqrt{gh} (3) $M = m$
- 总结: 在解方程组的时候, 选择去消掉 t 直接得到 $v = f(v_0)$ 是非常困难的, 事实上先解出 $v = f(y)$ 求得最小的 y_{min} , 那么就可得到最小的 $v_{y_{min}}$ 进而得到最小的 $v = \sqrt{gh}$

1.3 2022-2023 巴蜀中学下学期期末

1.3.1 I-13: 电路中的变化量分析

13. 在如图所示电路中, 闭合开关S, 当滑动变阻器的滑动触头向上滑动时, 六个理想电表的示数都发生了变化, 电表的示数分别用 I_i 和 U_i ($i=1,2,3$ 下同) 表示, 电表示数变化量的大小分别用 ΔI_i 和 ΔU_i 表示。下列分析结论正确的是 ()



- A. I_1 、 I_3 、 U_1 示数均减小
 - B. $|\Delta I_1|=|\Delta I_2|+|\Delta I_3|$
 - C. $\frac{U_1}{I_1}$ 、 $\frac{U_2}{I_2}$ 、 $\frac{U_3}{I_3}$ 均变化
 - D. $\frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}$ 、 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I_1}$ 、 $\frac{\Delta U_3}{\Delta I_1}$ 均不变
- 正解: AD
 - 总结: 最好写出回路的表达式 $E = U_2 + I_1 r$ $U_3 = E - I_1(R_1 + r)$

1.3.2 II-2: 电路的测量误差

17. 同学们利用实验室提供的器材测量某种电阻丝材料的电阻率，所用电阻丝的电阻约为 30Ω 。他们首先把电阻丝拉直后将其两端固定在刻度尺两端的接线柱 a 和 b 上，在电阻丝上夹上一个与接线柱 c 相连的小金属夹，沿电阻丝移动金属夹，可改变其与电阻丝接触点 P 的位置，从而改变接入电路中电阻丝的长度，可供选择的器材还有：

电池组 E (电动势为 $3.0V$, 内阻约 1Ω);

电流表 A_1 (量程 $0\sim 0.6A$, 内阻约 0.2Ω);

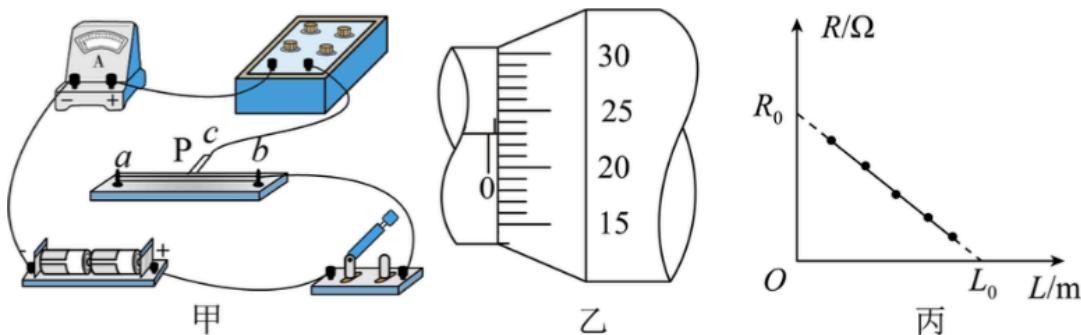
电流表 A_2 (量程 $0\sim 100mA$, 内阻约 5Ω);

电阻箱 R ($0\sim 999.9\Omega$);

开关、导线若干。

小明的实验操作步骤如下：

- 用螺旋测微器在电阻丝上三个不同的位置分别测量电阻丝的直径;
- 根据所提供的实验器材, 设计并连接好如图甲所示的实验电路;
- 调节电阻箱使其接入电路中的电阻值较大, 闭合开关;
- 将金属夹夹在电阻丝上某位置, 调整电阻箱接入电路中的电阻值, 使电流表满偏, 记录电阻箱的电阻值 R 和接入电路的电阻丝长度 L ;
- 改变金属夹与电阻丝接触点的位置, 调整电阻箱接入电路中的阻值, 使电流表再次满偏, 重复多次, 记录每一次电阻箱的电阻值 R 和接入电路的电阻丝长度 L ;
- 断开开关。



- (4) 若在本实验中的操作、读数及计算均正确无误, 由于电流表内阻的存在, 那么电阻率的测量值 _____ 真实值。(填“大于”、“小于”或“等于”)

- 总结：官解结果正确但是思路奇怪, R_0 会发生变化, 存在电流表内阻时

$$R_0 = \frac{E}{I} - r$$

所以 R_0 测量值偏小, 但事实上实验步骤并不直接得到 R_0 , 而是通过延长线的方式, 因此 L_0 并非不变化的

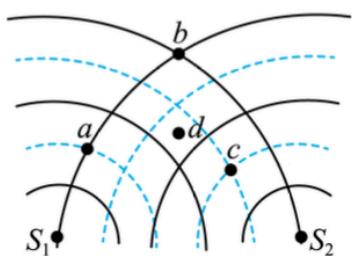
$$R_i = \frac{E}{I} - r - \frac{4\rho}{\pi d^2} L_i$$

实验的测量值是准确的, 因此忽略电流表内阻与仅仅是将直线向下移动, 并不影响斜率, 所以结果是等于

1.4 2022-2023 南开中学高一下期末

1.4.1 I-6: 光的几何表示问题

6. 如图所示, S_1 , S_2 是同频率同步调的两个波源, 振幅均为 A , 周期为 T , 实线代表波峰, 虚线代表波谷。关于图中所标的 a 、 b 、 c 、 d 四个质点, 下列说法正确的是 ()



A. a 的振幅为 $2A$

B. b 为振动加强点, c 为振动减弱点

C. 图示时刻 b 在波峰, 经 $0.5T$, b 到达波谷

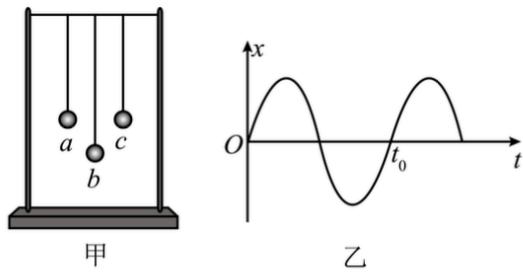
D. 经 $1.5T$ 质点 a 运动到质点 b 处

- 正解: C
- 总结: 此为光波的另一种表现方式, 同时振动加强点包括波峰叠加和波谷叠加,D 选项, 质点 a 实际仅在平衡位置振动, 并不产生其它方向的位移

1.4.2 I-8: 单摆 + 受迫振动

8. 如图甲所示, 在一条绷紧的绳子上挂 a 、 b 、 c 摆, a 、 c 摆的摆长相同, b 摆的摆长最长。当 a 摆振动时, 通过绷紧的绳子给 b 、 c 摆施加驱动力, 使 b 、 c 摆也振动起来。图乙是 c 摆振动稳定以后的图像, 其周期为 t_0 , 重力加速度为 g , 忽略空气阻力。下列说法正确的是 ()

第4页/共24页



- A. b 摆的摆长大于 $\frac{gt_0^2}{4\pi^2}$
 - B. 达到稳定时, b 摆的振幅最大
 - C. 三个单摆的固有周期关系为 $T_a = T_c > T_b$
 - D. 摆动过程中摆球所受重力与摆线对摆球拉力的合力充当回复力
- 正解: A
 - 总结: 单摆周期公式死记硬背, 受迫振动: 在周期性外力的持续作用下而进行的振动称为受迫振动, 振动稳定后齐频率等于外力驱动频率

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

证明. 证明运动为简谐运动, 仅需证明回复力 $F = -kx$ (多次进行小量近似, 很简单) □

证明. 证明简谐运动的周期 (更复杂的方法请参考朗道等高阶解法)

$$\begin{aligned} F &= -\frac{mg}{L} \cdot x = m \frac{d^2x}{dt^2} \\ \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{L} x &= 0 \\ \text{令 } \omega &= \sqrt{\frac{g}{L}} \\ \frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x &= 0 \end{aligned}$$

特征根方程 $r^2 = \omega^2$ $r = \pm\omega i$

$$x = C \sin(\omega t + \varphi) \implies T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} + p \frac{dy}{dx} + qy = 0$$

特征根方程

$$r^2 + pr + q = 0$$

1. $r_1 \neq r_2$ 且为实根

$$y = Ae^{r_1 x} + Be^{r_2 x}$$

2. $r_1 = r_2$ 且为实根

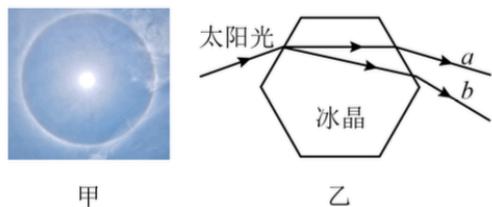
$$y = (C_1 + C_2 x)e^{r_1 x}$$

3. $r_1 = \alpha + i\beta, r_2 = \alpha - i\beta$ 为共轭复根 (通常 α 都是 0)

$$y = e^{\alpha x}(C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) \quad or \quad y = C_1 e^{i\beta x} + C_2 e^{-i\beta x}$$

1.4.3 I-10: 折射率问题

10. 如图甲所示, 每年夏季我国多地会出现日晕现象, 日晕是当日光通过卷层云时受到冰晶的折射或反射形成的。一束太阳光射到截面为六角形的冰晶上发生折射, 其光路图如图乙所示, a 、 b 为其折射出的两条单色光。下列说法正确的是 ()



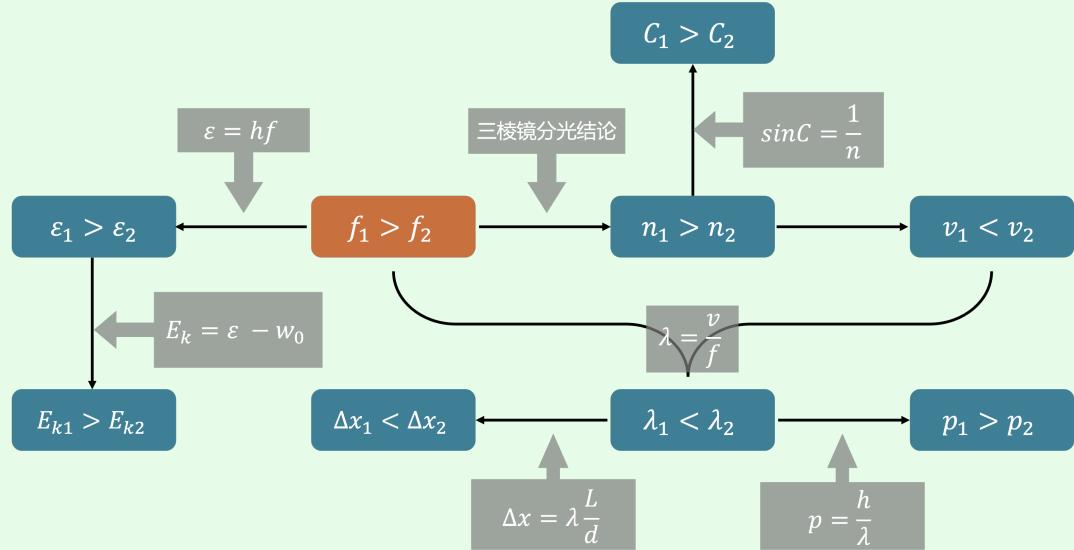
- A. a 光的频率较大
 B. 光在真空中传播时, b 光的波长较大
 C. 从冰晶中射入空气发生全反射时, b 光的临界角较小
 D. 通过同一装置发生双缝干涉时, a 光的相邻条纹间距较小

- 正解: C
- 总结:
 - 光的频率 ν 是本质属性, 在任何介质下传播都不发生改变
 - 同一介质中不同频率的光, 其折射率随频率单调递增
 - 同一光在不同介质的折射率不同
- 扩展:

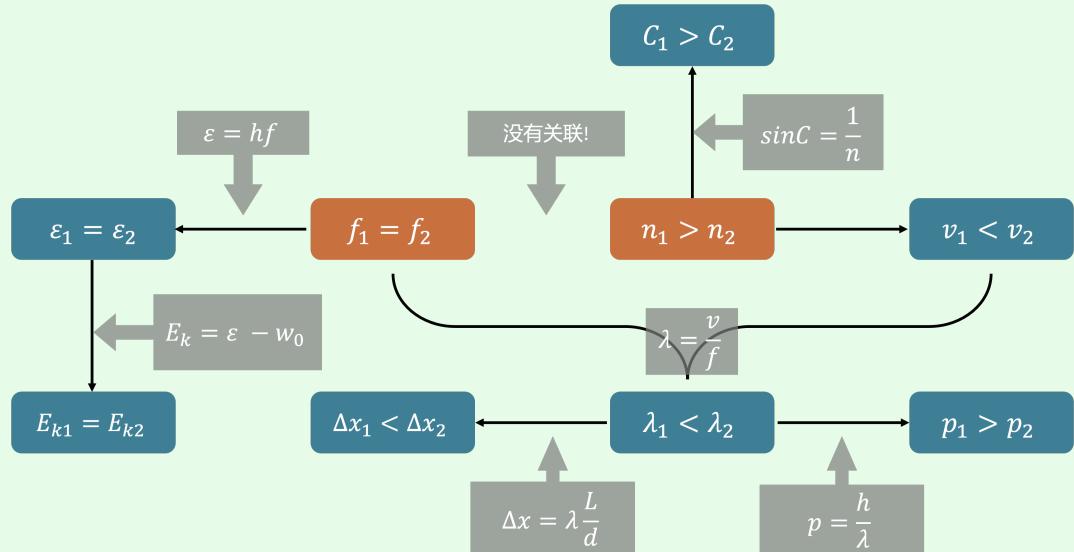
符号说明

频率	折射率	速度	临界角	波长	动量	干涉	能量	逸出功	逃逸光子动能
f	n	v	C	λ	p	Δx	ε	w_0	E_k

- 同一介质中不同频率的光



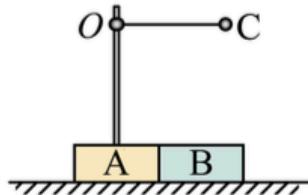
- 同一频率的光在不同介质 (下标表示不同介质中) 中



1.5 2022-2023 育才中学期末模拟题 (六)

1.5.1 II-3: 水平初动量不为 0 的杆相互作用模型

10. 质量分别为 m 、 $2m$ 的木块 A 和 B，并排放在光滑水平地面上，A 上固定一竖直轻杆，长为 L 的细线一端系在轻杆上部的 O 点，另一端系质量为 m 的小球 C，现将 C 球向右拉起至水平拉直细线，如图所示，由静止释放 C 球，则在之后的过程中（球与杆及 A、B 均无接触），下列说法正确的是（ ）

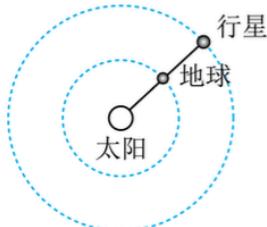


- A. 木块 A、B 分离后，B 的速度大小为 $\frac{\sqrt{6gL}}{6}$
 - B. 木块 A 的最大速度为 $\frac{\sqrt{6gL}}{2}$
 - C. C 球在 O 点正下方向右运动时，速度大小为 $\frac{\sqrt{6gL}}{2}$
 - D. C 球通过 O 点正下方后，上升的最大高度为 $\frac{2}{3}L$
- 正解: ABD
 - 总结: 是一类通过杆相互作用的水平动量守恒模型，但是注意系统初动量不为 0

1.6 2022-2023 育才中学期末模拟题 (三)

1.6.1 I-6: 调和定律-新颖题目

6. 太阳系中的九大行星绕太阳公转的轨道均可视为圆，不同行星的轨道平面均可视为同一平面。如图所示，当地球外侧的行星运动到日地连线上，且和地球位于太阳同侧时，与地球的距离最近，我们把这种相距最近的状态称为行星与地球的“会面”。若每过 N_1 年，木星与地球“会面”一次，每过 N_2 年，天王星与地球“会面”一次，则木星与天王星的公转轨道半径之比为()

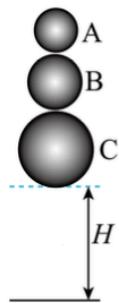


- A. $\left[\frac{N_1(N_2-1)}{N_2(N_1-1)} \right]^{\frac{2}{3}}$
- B. $\left[\frac{N_2(N_1-1)}{N_1(N_2-1)} \right]^{\frac{2}{3}}$
- C. $\left[\frac{N_1(N_1-1)}{N_2(N_2-1)} \right]^{\frac{2}{3}}$
- D. $\left[\frac{N_2(N_2-1)}{N_1(N_1-1)} \right]^{\frac{2}{3}}$

- 正解: A
- 总结: 注意理解一年的意义

1.6.2 II-3: 连续弹碰 (牛顿摆)

10. 物理学中有一种碰撞被称为“超弹性连续碰撞”，通过能量的转移可以使最上面的小球弹起的高度比释放时的高度更大。如图所示，A、B、C 三个弹性极好的小球，相邻小球间有极小间隙，三球球心连线竖直，从离地一定高度处由静止同时释放（其中 C 球下部离地 H ），所有碰撞均为弹性碰撞，且碰后 B、C 恰好静止，则()



- A. C 球落地前瞬间 A 球的速度为 $\sqrt{2gH}$

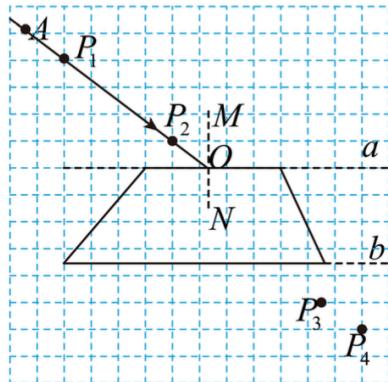
- B. 从上至下三球的质量之比为 $1:2:6$
- C. A 球弹起的最大高度为 $25H$
- D. A 球弹起的最大高度为 $9H$

- 正解: ABD
- 总结: 逐个分析即可

- 扩展：牛顿摆的分析方法也是先研究瞬时碰撞的两个物体，并进行传递

1.7 2022-2023 一中高一下期末

1.7.1 III-1: 折射率实验



(5) 该同学在实验过程中画出界面 a 后，不小心将玻璃砖向下平移了一些，之后才画上界面 b ，则所测得的折射率将_____。(填“偏大”“偏小”或“不变”)

- 正解：偏小
- 总结：玻璃砖整体平移，非平行玻璃砖的测量是准确的；其他情况 $d_{\text{画}} d_{\text{玻}}$ 的大小关系与 $n_{\text{测}} n_{\text{真}}$ 相反。此题中由于将玻璃下移后才画上下边界，因此 $d_{\text{画}} > d_{\text{真}} \implies n_{\text{测}} < n_{\text{真}}$

1.8 2024 育才高一下期末

1.8.1 I-1: 飞机功率计算问题

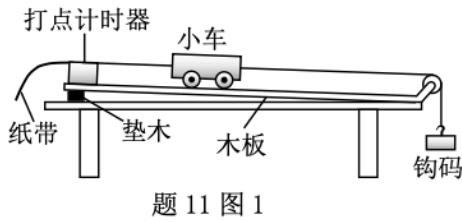
某无人机自重为 G ，在空中水平匀速飞行时的速度大小为 v ，所受空气阻力大小为其自重的 k 倍。则该无人机水平匀速飞行时的功率为

- A. Gv B. kGv C. $\sqrt{1+k^2} Gv$ D. $(1+k)Gv$

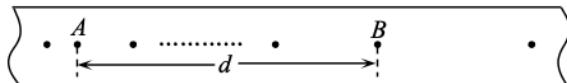
- 正解：A
- 总结：飞机水平匀速运动过程中，发动机不需要提供向上的力，这部分力由升力提供

1.8.2 III-1: 纸带钩码研究动能定理

某学习小组以题 11 图 1 所示装置中的小车为对象，验证“动能定理”。



题 11 图 1



题 11 图 2

(1) 实验时先不挂钩码，反复调整垫木的位置，直到小车做匀速直线运动，这样做的目的是_____；

已知小车质量为 M ，钩码的总质量为 m ，为了用钩码的总重力大小表示小车受到的合力大小，应满足的质量关系是_____。

(2) 下列操作正确的是_____（填正确答案标号）。

A. 先通电，后释放纸带

B. 先释放纸带，后通电

(3) 题 11 图 2 是某次实验中得到的一条纸带，选取其中间距为 d 的两个点 A 、 B (A 、 B 两点间还有一系列打点)，并测出 A 、 B 两点的速度大小分别为 v_A 、 v_B 。已知重力加速度为 g ，则对小车，本次实验最终要验证的“动能定理”的表达式为：_____（用 M 、 m 、 g 、 d 、 v_A 、 v_B 表示）。

- 正解：

(1) 平衡小车所受摩擦阻力 (1 分) $M \gg m$ (2 分)

(2) A (2 分)

$$(3) mgd = \frac{1}{2}Mv_B^2 - \frac{1}{2}Mv_A^2 \quad (2 \text{ 分})$$

- 总结：先通电再释放；钩码总质量远小于小车质量

$$T = Ma \quad mg - T = ma \quad a = \frac{m}{m+M}g \implies T = \frac{mM}{m+M}g$$

$$\text{上下同时除以 } M \implies T = \frac{m}{M+1}g, \text{ 因此当 } m \text{ 远小于 } M \text{ 时 } T = mg$$

2 高二

2.1 机械振动专题

2.1.1 I-1: 起振方向未知的多解问题

一个弹簧振子沿 x 做简谐运动，平衡位置在坐标原点，振幅为 $0.2m$ 。 $t = 0$ 时振子的位移为 $-0.1m$ ， $t = 0.5s$ 时位移第一次为 $0.1m$ ，则振子的周期可能是

A. 1s

B. 1.5s

C. 2s

D. 3s

- 正解：AD

- 总结：起振方向未知，存在多解

$$y = 0.2 \sin(\omega t + \varphi)$$

$$t = 0 \quad \sin \varphi = -\frac{1}{2} \implies \begin{cases} \varphi = -\frac{\pi}{6} \\ \varphi = -\frac{5\pi}{6} \end{cases}$$

$$t = 0.5s \quad \sin 0.5\omega + \varphi = \frac{1}{2}$$

$$\begin{cases} \frac{\omega}{2} - \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{6} \\ \frac{\omega}{2} - \frac{5\pi}{6} = \frac{\pi}{6} \end{cases} \implies \begin{cases} \omega = \frac{2\pi}{3} \implies T = \frac{2\pi}{\omega} = 3s \\ \omega = 2\pi \implies T = \frac{2\pi}{\omega} = 1s \end{cases}$$

- 扩展：

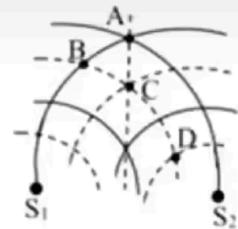
造成波的多解性的三大原因：

- 波的周期性：
 $\begin{cases} \text{时间周期性：时间间隔}\Delta t\text{与周期}T\text{的关系不明确} \\ \text{空间周期性：波传播距离}\Delta x\text{与波长}\lambda\text{的关系不明确} \end{cases}$
- 波的双向性：
 $\begin{cases} \text{传播方向双向性：波的传播方向不确定} \\ \text{振动方向双向性：质点振动方向不确定} \end{cases}$
- 波形隐含性：
 $\begin{cases} \text{在波动问题中，有时只给出几个特殊点} \\ (\text{大多是两个特殊的点}) \text{ 的运动状态，其余信息均处于隐含状态} \end{cases}$

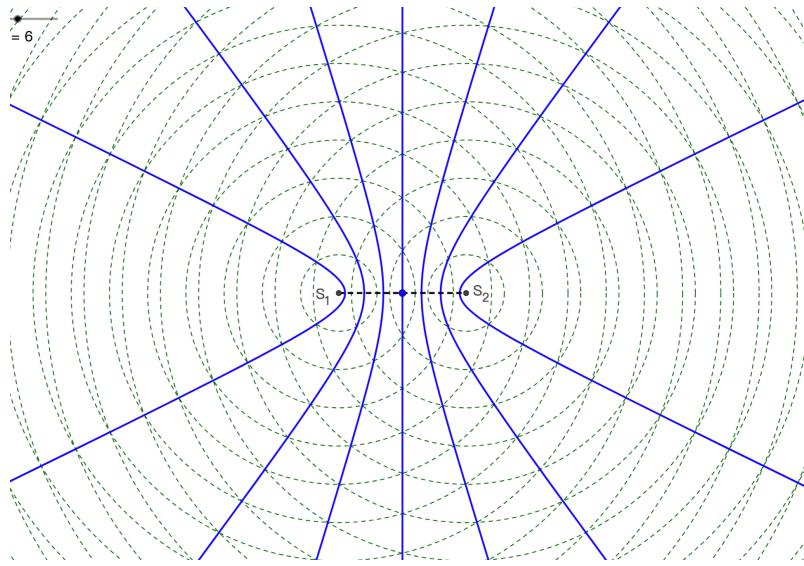
2.1.2 I-2: 球面波干涉图像问题

1. 如图所示， S_1 、 S_2 是两个振幅相等的相干波源，实线和虚线分别表示在某一时刻它们所发出的波的波峰和波谷。在 A、B、C、D 四点中，()

- A. A 点振动减弱
- B. B 点振动加强
- C. $\frac{1}{4}$ 周期后，C 点处于平衡位置
- D. A 点始终处于波峰，D 点始终处于波谷

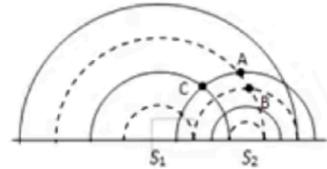


- 正解：C
- 总结：C 选项，c 点为振动加强点，仅仅是振幅变大，并非不在平衡位置振动，研究 $\frac{1}{4}$ 时间后的位置情况，是根据叠加波（周期不变）的传播来看，经过该时间后，波谷达到平衡位置，所以 C 选项正确
- 扩展：此类干涉图的所有振动加强点的连线是双曲线。有的此类图形未必是干涉图像，比如两个水波的叠各自具有不同的周期，因此某个点振动加强或减弱并非恒定



2.1.3 I-3: 球面波非干涉图像问题

2. 如图所示, S_1 、 S_2 是振幅均为 A 的两个水波波源, 某时刻它们形成的波峰和波谷分别由实线和虚线表示。则 ()
- A. 两列波在相遇后各自的周期都发生了变化
 - B. 此时各点的位移是: $x_A=0$, $x_B=-2A$, $x_C=2A$
 - C. A 处振动始终减弱, B、C 处振动始终加强
 - D. B 点位移大小始终大于 A 点位移大小



- 正解: B
- 总结: 两个水波没有特定说明则是非相干波源, 因此振幅的加强或减弱是非恒定的

2.1.4 I-4: 折射率几何求解

题组二 折射率的计算

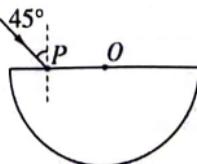
大招 24: 《名师大招册》P60

- 5 (2024 · 江苏南通调研) 如图所示, 半圆形玻璃砖的圆心为 O , 半径为 R , O 、 P 两点间的距

离为 $\frac{\sqrt{3}}{3}R$ 。一束单色光从 P

点以 45° 的入射角射入玻璃
砖, 出射光线和入射光线平

行, 则玻璃砖的折射率为



()

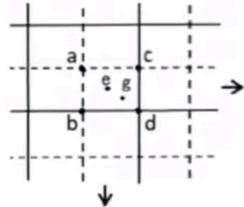
- A. $\sqrt{2}$
- B. 2
- C. $\sqrt{3}$
- D. 3

- 正解: A
- 总结: 此类问题关键是寻找折射光线在圆弧的位置, 因为要求出射光线与入射光线平行, 因此两次折射情况应该完全一致 $45^\circ \rightarrow \gamma$ $\gamma \rightarrow 45^\circ$ 。那么可以得出第二次折射处的情况也是一个水平面 (至少法线方向和第一次折射的法线方向平行)。于是可以得到第二次折射点恰为圆弧底, 且法线在竖直方向上且过圆心。

2.1.5 II-1: 平面波干涉图像问题

(多选) 3. 有两列频率相同、振动方向相同、振幅均为 A、传播方向互相垂直的平面波相遇发生干涉。如图所示, 图中实线表示波峰, 虚线表示波谷, a 为波谷与波谷相遇点, b、c 为波峰与波谷相遇点, d 为波峰与波峰相遇点, e、g 是 a、d 连线上的两点, 其中 e 为连线的中点, 则 ()

- A. ad 连线上所有的质点振动加强
- B. 从图示时刻经过半个周期, e 处质点通过的路程为 4A
- C. 从图示时刻经过半个周期, g 处质点加速向平衡位置运动
- D. 从图示时刻经过四分之一周期, d 处的质点振幅恰好为零



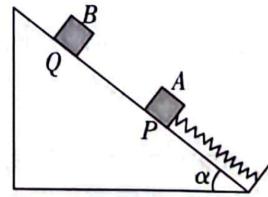
• 正解: ABC

• 总结:

- A. 两个振幅加强点的连线上的所有点都是加强点.
- B. 简谐运动的结论, 经过一个周期, 质点 (平衡位置或最大振幅位置) 走过路程为 4 倍振幅. 经过半个周期, 质点走过 2 倍振幅. 在此选项中, 质点 e 为加强点振幅为 2A, 经过半个周期, 质点走过 $2 * 2A = 4A$
- C. 运用简谐波的结论和同侧法判断振动方向 (当然题目存在一定的语言上的细节, g 减速到最大振幅后向平衡位置移动, 加速度指向平衡位置)
- D. 题目考查的语言的艺术, 可以描述 d 点所处位置为平衡位置, 但是 d 点是振幅加强点不为 0

2.1.6 II-2: 斜面弹簧组合体简谐振子

14 (大招 17) (2024 · 山东烟台期中, 多选) 如图所示, 倾角为 α 的光滑斜面固定在水平面上, 一根劲度系数为 k 的轻质弹簧下端固定于斜面底部挡板处, 弹簧上端放一个质量为 m 的小物块 A, A 与弹簧间不拴接, 开始时 A 静止于 P 点。另一质量也为 m 的小物块 B 从斜面上 Q 点由静止释放, 与 A 发生正碰后立即粘在一起成为组合体, 组合体在以后的运动过程中恰好不离开弹簧。已知弹簧的弹性势能与其形变量的关系为 $E_p = \frac{1}{2}kx^2$, 重力加速度为 g , 弹簧始终未超出弹性限度。下列说法正确的是 ()



- A. 弹簧的最大弹性势能为 $\frac{8m^2g^2\sin^2\alpha}{k}$
- B. 组合体动能的最大值为 $\frac{4m^2g^2\sin^2\alpha}{k}$
- C. P、Q 两点间的距离为 $x = \frac{6mgsin\alpha}{k}$
- D. P、Q 两点间的距离为 $x = \frac{3mgsin\alpha}{k}$

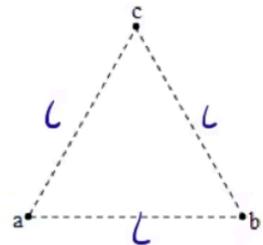
• 正解:AD

• 总结: 题目的过程较为复杂, 我们需要理清每一个阶段

1. 初始阶段, 物块 A 静止, 弹簧被压缩至 $x_1 = \frac{mg \sin \alpha}{k}$
2. 组合体阶段, 题目的关键信息: 组合体运动过程中恰好不离开弹簧, 因此在恢复原长时组合体的速度为 0. 此时的回复力 $F_{回} = 2mg \sin \alpha$ (向下), 由简谐振动的性质, 压缩到最大时的回复力大小也应该如此, 因此 $kx_2 - 2mg \sin \alpha = 2mg \sin \alpha \implies x_3 = \frac{4mg \sin \alpha}{k}$. 由此可得弹簧的最大弹性势能 $E_{pmax} = \frac{1}{2}kx_2^2 = \frac{8m^2g^2\sin^2\alpha}{k} = 8J$ ($J = \frac{m^2g^2\sin^2\alpha}{k}$)
3. 研究组合体最大的动能, 显然我们需要找到谐振运动的平衡点即 $F_{回} = 0$ 的位置 $x_2 = \frac{2mg \sin \alpha}{k}$. 因此在组合体从弹簧原长位置到平衡位置的过程中, 弹簧弹性势能增加量 $\Delta E_p = 2J$, 重力势能的减少量 $\Delta E_g = 2mgx_2 \sin \alpha = 4J$, 所以组合体的动能为 $2J$
4. 计算 PQ 距离重要在于研究初始位置 x_1 的碰撞问题得到速度, 碰撞后成为组合体的动量守恒问题比较简单 $mv = 2mv' \quad v' = \frac{v}{2}$. 组合体的速度从初始位置压缩到最大位置 x_3 (速度变为 0), 其中重力势能的减少量 $\Delta E_g = 2mg(x_3 - x_1) \sin \alpha = 6J$, 弹簧弹性势能的增加量 $\Delta E_p = 8J - \frac{1}{2}J = \frac{15}{2}J$, 所以组合体的初动能为 $\frac{3}{2}J$, 因此得到 $v' = \sqrt{\frac{3mg^2\sin^2\alpha}{2k}} \implies v = 2v' \quad mgx_{PQ} \sin \alpha = \frac{1}{2}mv'^2 \quad x_{PQ} = \frac{3mg \sin \alpha}{k}$

2.1.7 IV-1: 干涉计算

5. (2020·新课标 I) 一振动片以频率 f 做简谐振动时, 固定在振动片上的两根细杆同步周期性地触动水面上 a、b 两点, 两波源发出的波在水面上形成稳定的干涉图样。c 是水面上的一点, a、b、c 间的距离均为 l , 如图所示。已知除 c 点外, 在 ac 连线上还有其他振幅极大的点, 其中距 c 最近的点到 c 的距离为 $\frac{3}{8}l$ 。求
 (i) 波的波长;
 (ii) 波的传播速度。



- 正解: (1) $\frac{1}{4}L$ (2) $\frac{1}{4}fL$
- 总结: 需要理清波源为哪两个点, 同时找到某个振动加强点 (多少个 λ) 到波源的两个距离, 余弦定理做计算.
- 扩展: 三角函数相关

- 展开

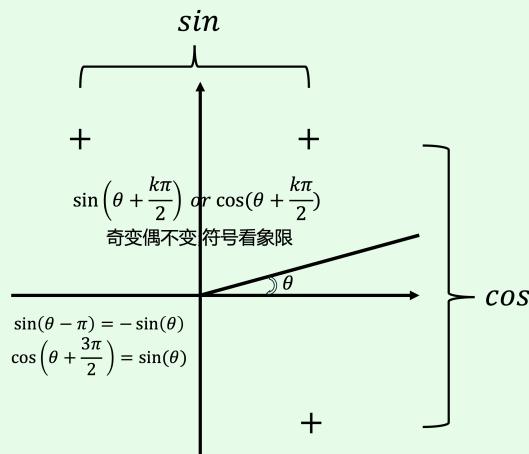
$$\sin(\theta \pm \beta) = \sin \theta \cos \beta \pm \cos \theta \sin \beta$$

$$\cos(\theta \pm \beta) = \cos \theta \cos \beta \mp \sin \theta \sin \beta$$

$$\tan(\theta \pm \beta) = \frac{\tan \theta \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \theta \tan \beta}$$

- 余补关系

$$\sin(\pi - \theta) = \sin \theta \quad \cos(\pi - \theta) = -\cos \theta \quad \tan(\pi - \theta) = -\tan \theta$$



- 正弦定理

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

- 余弦定理

$$\cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

- 二倍角

$$\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta \quad \cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \quad \tan 2\theta = \frac{2 \tan \theta}{1 - \tan^2 \theta}$$

- 降次

$$\sin^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{2} \quad \cos^2 \theta = \frac{1 + \cos 2\theta}{2} \quad \tan^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{1 + \cos 2\theta}$$

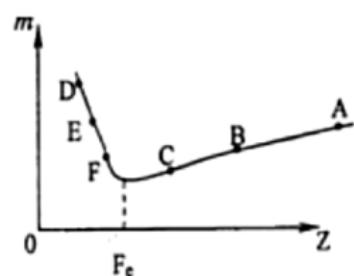
2.2 原子核物理

2.2.1 I-1: 不同原子核的平均值质量和

4. 如图所示是描述原子核核子的平均质量 m 与原子序数 Z 的关系

曲线, 由图可知下列说法正确的是 ()

- A. 将原子核 A 分解为原子核 B、C 可能吸收能量
- B. 将原子核 D、E 结合成原子核 F 可能吸收能量
- C. 将原子核 A 分解为原子核 B、F 一定释放能量
- D. 将原子核 F、C 结合成原子核 B 一定释放能量



- 正解: C

- 总结: 质量亏损释放能量, 质量增大吸收能量

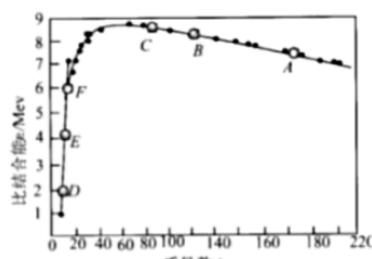
在计算某两种元素原子核的平均质量时, 并不是简单的加和

例如 BC 两种元素混合后其平均质量值应该介于两者之间.

2.2.2 II-1: 比结合能大小与能量吸收释放

例题 1. 如图所示是原子核的核子平均结合能与质量数 A 的关系图象, 下列说法正确的是 ()

- A. 如 D 和 E 结合成 F, 结合过程一定会吸收核能
- B. 如 D 和 E 结合成 F, 结合过程一定会释放核能
- C. 如 A 分裂成 B 和 C, 分裂过程一定会吸收核能
- D. 如 A 分裂成 B 和 C, 分裂过程一定会释放核能



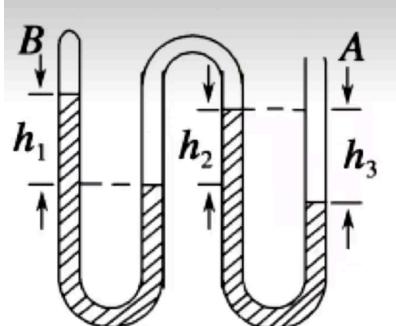
- 正解: BD

- 总结: 比结合能越大则原子核状态更稳定, 具备更低的能量状态. 因此当比结合能上升时释放能量
多元素的比结合能的计算类同理与平均质量

2.3 热学

2.3.1 I-1: 三管连通器

已知 $h_1; h_2; h_3; P_A$, 求解 P_B



- 正解: $P_B = P_A + \rho g(h_3 - h_1)$

- 总结: 前两管: $P_B + \rho gh_1 = P_C$, 后两管 $P_C + \rho gh_3 = P_0$

2.3.2 I-2: 液泡上浮问题

3、一个气泡由湖面下 20 m 深处缓慢上升到湖面下 10 m 深处，它的体积约变为原来体积的()

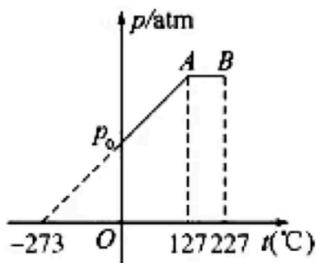
- A. 3 倍
- B. 2 倍
- C. 1.5 倍
- D. 0.7 倍

- 正解: C
- 总结: 外界大气压的作用应该被计算进去

2.3.3 I-3: 图像计算

14、如图所示为 0.3mol 的某种气体的压强和温度关系的 P - T 图线。 P_0 表示 1 个标准大气压，则在状态 B 时气体的体积为 ()

- A. 5.6L
- B. 3.2L
- C. 1.2L
- D. 8.4L



- 正解: D
- 总结: 首先应该向左平移 y 轴，使得横坐标换算成开尔文温度。新的坐标系下，斜线 OA 满足 $P = \frac{C}{V}T$ 斜率为定值，因此为等容过程。 $T = 273k$ 时直线过 P_0 ，此时气体体积为 $22.4L$ ，因此 $V_A = 22.4L$ 。横线 $A \rightarrow B$ 为等压过程，计算温度之比即可求得 V_B

2.3.4 I-4: 液柱动力学问题

1、在一端封闭的粗细均匀的玻璃管内，用水银柱封闭一部分空气，玻璃管开口向下，如图所示，当玻璃管自由下落时，空气柱长度将()

- A. 增大
- B. 减小
- C. 不变
- D. 无法确定

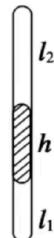


- 正解: B

- 总结：动力学问题主要在于分析好初末态，同时列受力分析方程。
初态 $PS + mg = P_0S$, 末态自由落体加速度为 g
 $P'S + mg - P_0S = ma = mg \Rightarrow P' = P_0$ 液柱上方压强增大，因此液柱上方体积减小

2.3.5 I-5: 等体两气挤压问题

1、如图所示，两端封闭、粗细均匀、竖直放置的玻璃管内，有一长为 h 的水银柱，将管内气体分为两部分，已知 $l_2 = 2l_1$ 。若使两部分气体同时升高相同的温度，管内水银柱将如何运动？（设原来温度相同）



- 正解：向上移动
- 总结：三个状态参量中，真正使得液柱移动的物理量是 P ，在查理定律中 $\frac{P}{T} = \frac{C}{V}$ 升温瞬间可视为等体过程，因此函数为过原点的直线可得 $\frac{P}{T} = \frac{\Delta P}{\Delta T}$

$$\Delta P_1 = \frac{P_1}{T_1} \Delta T = \frac{C}{V_1} \Delta T$$

$$V_2 = 2V_1 \quad \Rightarrow \Delta P_1 > \Delta P_2$$

2.3.6 I-5: 斜试管等体变化液面移动与稳态分析

成 A、B 两部分，初始温度相同。使 A、B 升高相同温度达到稳定后，体积变化量为 ΔV_A 、 ΔV_B ，压强变化量为 ΔP_A 、 ΔP_B ，对液面压力的变化量为 ΔF_A 、 ΔF_B ，则（ ）

- A. 水银柱向下移动了一段距离
- B. $\Delta V_A < \Delta V_B$
- C. $\Delta p_A < \Delta p_B$
- D. $\Delta F_A > \Delta F_B$



- 正解：D
- 总结：（此题有时候瞬态与稳态的 Δ 是混用的，变化量与变化量绝对值 Δ 也是混用的）

(1) 判断移动使用瞬态公式 (这里的 Δ 表示的瞬态并非题干中的稳态)

$$\Delta P_A = \frac{P_A}{T} \Delta T \quad \Delta P_B = \frac{P_B}{T} \Delta T$$

$P_B > P_A \implies \Delta P_B > \Delta P_A$ 液柱向上移动

向上移动的过程中, 液面上下表面的面积也在发生改变, 液体的高度因为面积的增大而减小

(2) 由于整个管内是封闭的, 且认为液体的体积是不会改变的, 因此 $\Delta V_A = \Delta V_B$

$$(3) P'_A + h' = P'_B \quad h' \text{ 是由 } h \text{ 变小 } \Delta h < 0 \implies \Delta P_A > \Delta P_B$$

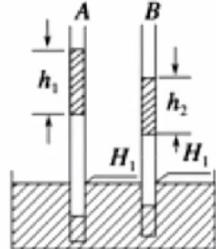
$$(4) \text{ 需要列受力分析方程 } F'_A + F_{\text{斜}} + mg = F'_B$$

由于液面的上升, 液面高度下降了, 压在侧面的液体体积减少, 因此 $\Delta F_{\text{斜}} < 0 \implies \Delta F_A > \Delta F_B$

2.3.7 I-6: 等压液面移动问题

1、如图所示, 两端开口的直玻璃管 A 和 B, 竖直插入同一水银槽中, 各用一段水银柱封闭着一定质量同温度的空气, 空气柱长度 $H_1 > H_2$, 水银柱长度 $h_1 > h_2$, 今使封闭气柱降低相同的温度 (大气压保持不变), 则两管中气柱上方水银柱的移动情况是 ()

- A. 均向下移动, B 管移动较多
- B. 均向下移动, A 管移动较多
- C. A 管向上移动, B 管向下移动
- D. 无法判断



- 正解: B

- 总结:

此题不能使用等体过程的 $\frac{\Delta P}{\Delta T}$ 进行分析

两试管各自独立, 区别于等体两气挤压问题 (作用对象为同一个液柱)

但两试管均连通大气 $P_0 + h_1 = P_A \quad P_0 + h_2 = P_B$

因此可视作等压过程, 同有过原点的直线 $V = \frac{1}{P}T \implies \frac{V}{T} = \frac{\Delta V}{\Delta T}$

$$V_A = \frac{\Delta V_A}{\Delta T} T \quad V_A > V_B (\text{两者均为负数, 液柱下移}) \implies \Delta V_A > \Delta V_B$$

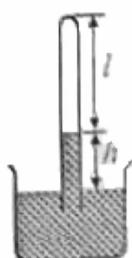
2.3.8 I-7: 试管移动问题

1、如图, 玻璃管内封闭了一段气体, 气柱长度为 l, 管内外

水银面高度差为 h, 若温度保持不变, 把玻璃管稍向上提起

一段距离, 则 ()

- A. h,l 均变大
- B. h,l 均变小
- C. h 变大 l 变小
- D. h 变小 l 变大



- 正解: A

- 总结:

此题没有明确的等状态参量(有等温条件但是在此题中没有直接作用)

可以视作等体(气体体积不变)过程分析,即先假设 l 不变.

初状态 $P + h = P_0$,向上提试管,等体过程气体体积不变意味 l 不变, h 变大,所以 P 减小
 P 在等温过程中意味着 V 增大,压缩液柱 h 减小.

h 在此分析过程中既有增大也有减小.很难直接分析哪个改变量更大

只需分析末状态 $P + h = P_0$, P 是一定在减小的,因此末状态 h 是增大的.所以 hl 均增大

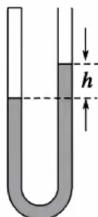
2.3.9 I-8: 液面移动综合分析

2、如图所示,一定质量的空气被水银封闭在静置于竖直平面

的U形玻璃管内,右管上端开口且足够长,右管内水银面比

左管内水银面高 h ,下列能使 h 变大的是()

- A. 环境温度升高
- B. 大气压强升高
- C. 沿管壁向右管内加水银
- D. U形玻璃管自由下落



- 正解: ACD

- 总结:

(A) 通常当多个变量发生变化,优先假设 V 不变,因此瞬态满足 $\frac{P}{T} = \frac{\Delta P}{\Delta T} = C$

$P = P_0 + h$ 方程右边暂时不变,环境温度上升 $\Delta T > 0 \Rightarrow \Delta P > 0$,压强 P 增大

虽然体积 V 减小导致 h 又下降,但稳态总有 P 变大,因此需要 h 变大,A正确

(B) P_0 上升, P 上升,等温条件下 V 下降,因此试管左边的体积下降导致 h 变小

(C) 可以从两个角度思考,只要持续往里加水银,必然使得液面高 h 上升

另一个角度,瞬态时 h 变大, P 变大, V 减小,末态方程 $P' = P_0 + h'$

结果上必然有 $P' > P_0$,因此 h 变大

(D) 自由落体需要列动力学方程, $P_0 S + mg - P' S = mg \Rightarrow P' = P_0$ 压强变小,体积变大, h 上升

2.3.10 I-9: 充气问题

1 某自行车轮胎的容积为 V .里面已有压强为 P_0 的空气,现

在要使轮胎内的气压增大到 P ,设充气过程为等温过程,空

气可看作理想气体,轮胎容积保持不变,则还要向轮胎充入

温度相同,压强也是 P_0 ,空气的体积为().

A. $\frac{P_0}{P} V$ B. $\frac{P}{P_0} V$

C. $\left(\frac{P}{P_0} - 1\right)V$ D. $\left(\frac{P}{P_0} + 1\right)V$

- 正解: C
- 总结:

由于是限容问题, 本质上是求: $\Delta n \iff \Delta V$

$$P_0V = n_1RT$$

$$PV = n_2RT \implies (P - P_0)V = (n_2 - n_1)RT$$

$$P_0\Delta V = \Delta nRT = (n_2 - n_1)RT \implies \Delta V = \left(\frac{P}{P_0} - 1\right)V$$

或者使用一个方程要求: 原状态 + 打入气 = 末状态

$$P_0V + P_0V_0 = PV \implies \Delta V = \left(\frac{P}{P_0} - 1\right)V$$

2.3.11 I-10: 物理现象中的热力学定律问题

4、给旱区送水的消防车停于水平地面, 在缓慢放水过程中, 若车胎不漏气, 胎内气体温度不变, 不计分子间势能, 则胎内气体 ()

- A. 从外界吸热
- B. 对外界做负功
- C. 分子平均动能减小
- D. 内能增加

- 正解: A

- 总结: 重点在于洒水车在洒水的过程中, 对轮胎的压力在下降

因此轮胎内的气体是在膨胀的, 气体对外做功 $W < 0$, 温度不变因此 $\Delta u = 0 \implies Q > 0$

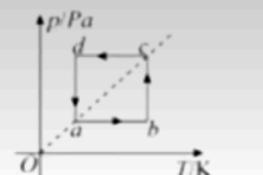
2.3.12 I-11: 热力学定律的图像问题 1

17. (2019 秋·上期中) 如图所示, 一定质量的理想气体经过 abcd a 过程, 其中 abcd 为正方形, ac 连线过坐标原点, 下列说法正确的是 ()

- A. a→b 过程, 吸收热量, 对外做功, 内能增大
- B. b→c 过程, 吸收热量, 对外做功, 内能不变
- C. a 状态压强 P_a , 温度 T_a , c 状态压强 P_c , 温度 T_c , 关系为 $P_a T_c = P_c T_a$
- D. c→d 过程, 气体压强不变, 体积减小, 单位时间撞在容器单位面积的分子数变多
- E. d - a 过程, 气体压强变小, 体积变大, 单位时间撞在容器单位面积的分子数变多

- 正解: ACD

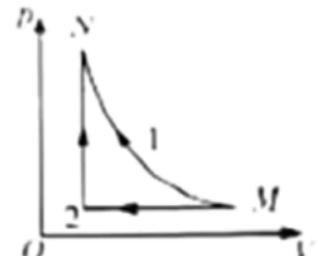
- 总结: D E 选项的判断体积越小, 那么显然单位体积内的分子数上升, 碰撞容器壁的概率会上升



2.3.13 I-12: 热力学定律的图像问题 2

18. (2019 秋·芝罘区校级月考) 一定质量的理想气体从状态 M 到达状态 N, 有两个过程可以经历, 其 p - V 图象如图 1 所示, 在过程 1 中, 气体始终与外界无热量交换; 在过程 2 中, 气体先经历等压变化再经历等容变化。则下列说法正确的是 ()

- A. 气体经历过程 1, 其温度升高, 内能增加
- B. 气体经历过程 1, 外界对气体做功, 内能不一定增加
- C. 气体在过程 2 中, 一直对外做功
- D. 气体在过程 2 中, 先放热后吸热
- E. 经历过程 1 的内能改变量与经历过程 2 的相同

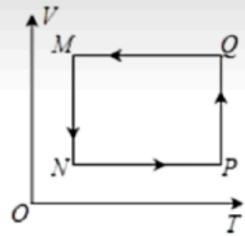


- 正解: ADE
- 总结: E 选项由于是理想气体, 因而温度的改变量决定内能的改变量
初末状态一致, 因此实际温度的改变量也一样, 所以内能的改变量一样

2.3.14 I-13: 热力学定律的图像问题 3

19. (2019·海南) 一定量的理想气体从状态 M 出发, 经状态 N、P、Q 回到状态 M, 完成一个循环。从 M 到 N、从 P 到 Q 是等温过程; 从 N 到 P、从 Q 到 M 是等容过程; 其体积 - 温度图象 (V - T 图) 如图所示。下列说法正确的是 ()

- A. 从 M 到 N 是吸热过程
- B. 从 N 到 P 是吸热过程
- C. 从 P 到 Q 气体对外界做功
- D. 从 Q 到 M 是气体对外界做功
- E. 从 Q 到 M 气体的内能减少

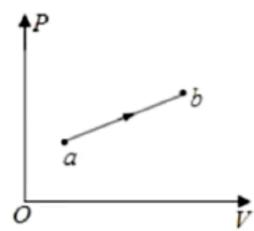


- 正解: BCE

2.3.15 I-14: 热力学定律的图像问题 4

20. (2018·新课标Ⅲ) 如图, 一定量的理想气体从状态 a 变化到状态 b, 其过程如 p - V 图中从 a 到 b 的直线所示。在此过程中 ()

- A. 气体温度一直降低
- B. 气体内能一直增加
- C. 气体一直对外做功
- D. 气体一直从外界吸热
- E. 气体吸收的热量一直全部用于对外做功



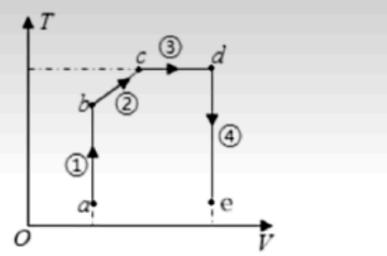
- 正解: BCD
- 总结: E 选项注意能量的转化角度, 热量一部分转化为对外做功一部分作为内能储存

2.3.16 I-15: 热力学定律的图像问题 5

21. (2018·新课标I) 如图,一定质量的理想气体从状态a开始,经历过程①、②、③、④到达状态e。对此气体,下列说法正确的是()

- A. 过程①中气体的压强逐渐减小
- B. 过程②中气体对外界做正功
- C. 过程④中气体从外界吸收了热量
- D. 状态c、d的内能相等
- E. 状态d的压强比状态b的压强小

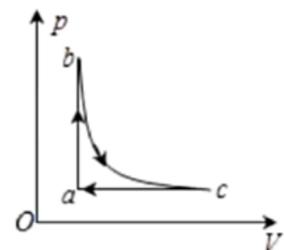
- 正解: BDE



2.3.17 I-16: 热力学定律的图像问题 6

22. (2017·新课标Ⅲ) 如图,一定质量的理想气体从状态a出发,经过等容过程ab到达状态b,再经过等温过程bc到达状态c,最后经等压过程ca回到状态a。下列说法正确的是()

- A. 在过程ab中气体的内能增加
- B. 在过程ca中外界对气体做功
- C. 在过程ab中气体对外界做功
- D. 在过程bc中气体从外界吸收热量
- E. 在过程ca中气体从外界吸收热量



- 正解: ABD

2.3.18 IV-1: 放气问题

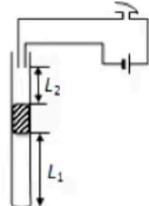
3. 如图所示是我国南海舰队潜艇,它水下速度为20节,最大下潜深度为300m。某次在南海执行任务时位于水面下 $h=150m$ 处,艇上有一个容积 $V_1=2m^3$ 的贮气钢筒,筒内贮有压缩空气,其压强 $P_1=200atm$,每次将筒内一部分空气压入水箱(水箱有排水孔与海水相连),排出海水 $\Delta V=0.9m^3$,当贮气钢筒中的压强降低到 $P_2=20atm$ 时,需重新充气。设潜艇保持水面下深度不变,在排水过程中气体的温度不变,水面上空气压强 $P_0=1atm$,取海水密度 $\rho=1\times 10^3kg/m^3$, $g=10m/s^2$, $1atm=1\times 10^5Pa$ 。求该贮气钢筒重新充气前可将筒内空气压入水箱的次数。

- 正解: 25 次
- 总结: 主要在排气体的压强与水压+大气压平衡,是恒压为 $1atm + P_{水}$,其中 $P_{水} = 15atm$

2.3.19 IV-1: 单试管加液问题

1、如图是简易报警装置，其原理是：导热性能良好的竖直细管中装有水银，当温度升高时，水银柱上升，使电路导通，蜂鸣器发出报警声。27°C时，空气柱长度 L_1 为 20cm，水银柱上表面与导线下端的距离 L_2 为 10cm，管内水银柱高 h 为 5cm，大气压强 P_0 为 75.5cmHg。

- (1) 当温度达到多少时，报警器会报警？
- (2) 若要使该装置在 102°C 时报警，应该再往管内注入多高的水银柱？

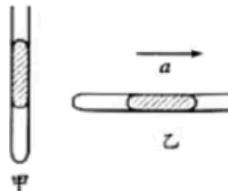


- 正解：(1) 450K (2) 7cm
- 总结：(1) 问中转化为开尔文温度计算；(2) 问假设加入了 x cm 水银柱来分析末状态。计算量较大

2.3.20 IV-2: 单试管液柱加速问题

2、如图甲所示，粗细均匀、横截面积为 S 的透热光滑细玻璃管竖直放置，管内用质量为 m 的水银柱密封着长为 l 的理想气柱。已知环境温度为 T_1 ，大气压强为 P_0 ，重力加速度为 g 。

- (1) 若仅将环境温度降为 $\frac{T_1}{2}$ ，求稳定后的气柱长度；
- (2) 若环境温度 T_1 不变，将玻璃管放于水平桌面上并让其以加速度 a ($a > g$) 向右做匀加速直线运动（见图乙），求稳定后的气柱长度。



- 正解：(1) $\frac{1}{2}l$ (2) $\frac{P_0S+mg}{P_0S+ma}l$
- 总结：(2) 问在于水平放置的刚开始左端气压为初始竖直状态下的气压，稳定时液柱向右以加速度 a 运动
 $PS - P_0S = ma$ (水平后液柱重力竖直向下，对分析过程并不产生作用)

2.3.21 IV-3: 单试管多过程问题

3、如图，一根粗细均匀、内壁光滑、竖直放置的玻璃管下端密封，上端封闭但留有一抽气孔。管内下部被活塞封住一定量的气体（可视为理想气体），气体温度为 T_1 。开始时，将活塞上方的气体缓慢抽出，当活塞上方的压强达到 P_0 时，活塞下方气体的体积为 V_1 ，活塞上方玻璃管的容积为 $2.6V_1$ 。活塞因重力而产生的压强为 $0.5P_0$ 。继续将活塞上方抽成真空并密封。整个抽气过程中管内气体温度始终保持不变。然后将密封的气体缓慢加热。求：

- (1) 活塞刚碰到玻璃管顶部时气体的温度；
- (2) 当气体温度达到 $1.8T_1$ 时气体的压强。



- 正解：(1) $\frac{1}{2}T_1$ (2) $0.75P_0$
- 总结：多过程问题重点在于分清楚每个阶段满足的平衡方程与物态方程

2.3.22 IV-4: 单试管多过程问题 2

5、如图所示，一定质量的理想气体被水银柱封闭在竖直玻璃管内，气柱的长度为 h 。现向管内缓慢地添加部分水银，水银添加完成时，气柱长度变为 $\frac{1}{2}h$ 。再取相同质量的水银缓慢地添加在管内。外界大气压强保持不变。

- (1) 求第二次水银添加完成时气柱的长度。
- (2) 若第二次水银添加完成时气体温度为 T_0 ，现使气体温度缓慢升高，求气柱长度恢复到原来长度 h 时气体的温度。

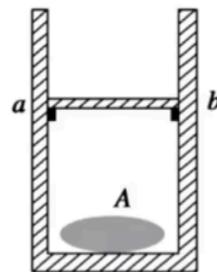


- 正解：(1) $\frac{1}{3}h$ (2) $3T_0$

2.3.23 IV-5: 气缸多过程问题

4、如图所示，上端开口的光滑圆柱形汽缸竖直放置，截面积为 40 cm^2 的活塞将一定质量的气体和一形状不规则的固体 A 封闭在汽缸内。在汽缸内距缸底 60 cm 处设有 a、b 两限制装置，使活塞只能向上滑动。开始时活塞搁在 a、b 上，缸内气体的压强为 p_0 ($p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 为大气压强)，温度为 300 K。现缓慢加热汽缸内气体，当温度为 330 K 时，活塞恰好离开 a、b；当温度为 360 K 时，活塞上升了 4 cm。g 取 10 m/s^2 求：

①活塞的质量②固体 A 的体积

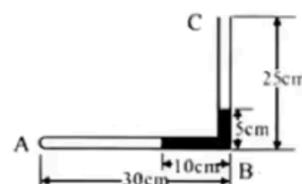


- 正解：(1) 4 kg (2) 640 cm^3
- 总结：(1) 问求解活塞质量其实为分析一个等体升温过程；(2) 可以假设固体体积 V_0 进行计算即可

2.3.24 IV-6: L型试管分类讨论问题

1、竖直平面内有一直角形内径处处相同的细玻璃管，A 端封闭，C 端开口，最初 AB 段处于水平状态，中间有一段水银将气体封闭在 A 端，各部分尺寸如图所示，外界大气压强 $P_0=75 \text{ cmHg}$ 。

- 若从 C 端缓慢注入水银，使水银与 C 端管口平齐，需要注入水银的长度为多少？
- 若在竖直平面内将玻璃管顺时针缓慢转动 90° ，最终 AB 段处于竖直、BC 段处于水平位置时，封闭气体的长度变为多少？（结果保留三位有效数字）



- 正解：(1) 24 cm (2) 23.5 cm
- 总结：(1) 问注意在分析平衡方程时，水平的液柱并不产生作用，只需要竖直部分
(2) 问应当注意的是需要分析液柱是否被完全挤压出竖直部分，当为完全挤压时 $P = P_0$
具体分析方法为假设刚好完全挤压出去，得到此时所需要的压强 P_x ，比较和刚竖直时的压强
若 P_x 较小则将继续挤压，那么 $P = P_0$ 。否则只挤出一部分，竖直方向仍有水银柱

2.3.25 IV-7: L型试管分类讨论问题 2

2.如图所示,粗细均匀的管子,竖直部分长为 $l = 50\text{cm}$, 水平部分足够长。当温度为 15°C 时, 竖直管中有一段长 $h = 20\text{cm}$ 的水银柱, 封闭着一段长 $l_1 = 20\text{cm}$ 的空气柱。设外界大气压强始终保持在 76cmHg . 求:

- ①被封空气柱长度为 $l_2 = 40\text{cm}$ 时的温度
- ②温度升高至 327°C 时, 被封空气柱的长度 l_3 .

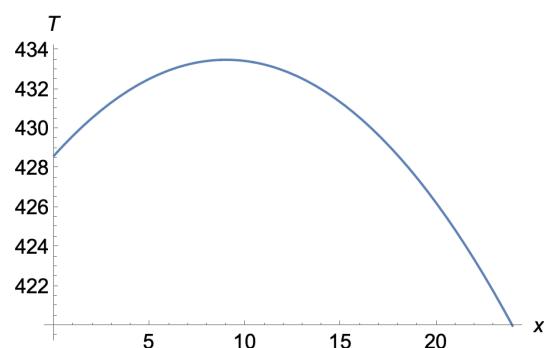
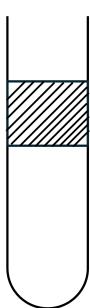


- 正解: (1) 516 k (2) 52.6 cm
- 总结: (2) 间的特殊点就在于, 液柱完全被挤压出竖直方向 ($P_x = 80\text{ cmHg} < 96\text{ cmHg}$)
所以被封空气柱的压强应当 76 cmHg 计算

2.3.26 IV-8: 挤压液体临界情况分析

如图所示, 一竖直放置且开口向上的玻璃管, 长度为 $L = 94\text{ cm}$, 管里一段长为 $h = 24\text{ cm}$ 的水银柱封闭一段理想气体, 气体的长度为 $l = 50\text{ cm}$, 环境温度为 27°C , 大气压强为 76 cmHg , 求:

- (1) 当水银柱恰好上升到玻璃管顶部, 此时气体温度为多少?
- (2) 要使水银全部溢出, 则气体温度为多少?



- 正解: (1) 420 k (2) 433.5 k
- 总结: (2) 间的临界情况比较特殊, 液体是连续不断的被挤压出试管
所以在此过程中液体的质量在不断减少, 所需要的压强也变少了
所以达到某个临界温度时, 停止升温, 依靠自身的压强可以完成后续的挤压过程
因此需要假设所剩液柱高度为 $x\text{ cm}$ 时, 后续依靠自身压强

$$\frac{100S}{300} \cdot \frac{50}{T} = \frac{(76+x)(94-x)S}{T} \implies T = \frac{3}{50}(76+x)(94-x)$$

该函数在 $x \in [0, 24]$ 区间上的图像如右上所示. 物理过程 x 逐渐减小 (函数从右向左看).

x 从大变小的过程中, 需要的温度逐渐上升.

在此区间抛物线函数上, 取到最大温度 $T = 433.5\text{ k}$ 后 (对应 $x = 9\text{ cm}$)

则可靠当前压强继续挤压液体溢出. 若是直接使用完全溢出后连通大气的压强计算

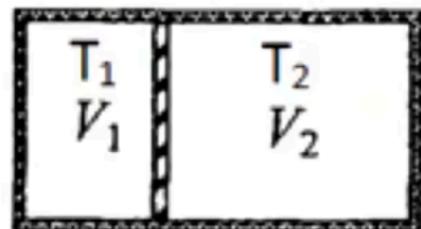
得到的温度 $T = 428.64\text{ k}$ 恰是越过了抛物线顶端向左的一个值

所以符合物理实际过程的温度是顶端温度 433.5 k

2.3.27 IV-9: 双气缸平衡问题

1. 如图, 气缸左右两侧气体由包有绝热材料的活塞隔开, 活塞与气缸光滑接触。初始时两侧气体均处于平衡态, 体积分别为 $V_1 = V$ 和 $V_2 = 2V$, 温度分别为 $T_1 = 2T$ 和 $T_2 = 5T$. 先保持右侧气体温度不变, 升高左侧气体温度, 使两侧气体体积相同; 然后取走绝热材料使活塞导热, 两侧气体最后达到平衡。求:

- ①两侧气体体积相同时, 左侧气体的温度 T_3 的大小;
- ②最后达到平衡时两侧气体体积之比。



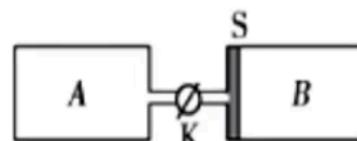
- 正解: (1) $4T$ (2) $5:4$
- 总结: 隐含的条件是, 在平衡状态下活塞是无法移动的, 因此两边气体的压强必然相等

2.3.28 IV-10: 双气缸平衡问题 2

2. 如图所示, A、B 是放置在水平面上的两个形状相同的气缸, 其长度为 L, S 是在 B 气缸内可无摩擦滑动的活塞, 它的厚度可忽略, A、B 之间有一个体积不计的细管联通, K 为阀门, A 气缸和细管是导热材料制成的, B 气缸是绝热材料制成的。开始时阀门关闭, 活塞处于 B 气缸的左端, A、B 气缸内分别密闭压强为 $2P_0$ 和 P_0 的两种理想气体, 气体温度和环境

温度均为 T_0 , 打开阀门 K 后, 活塞向右移动 $\frac{L}{5}$ 的距离并达到平衡 (此过程环境温度不变). 求:

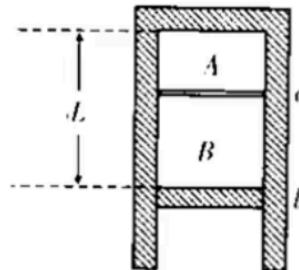
- (1) A 气缸内气体的压强;
- (2) B 气缸内气体的温度.



- 正解: (1) $\frac{5}{3}P_0$ (2) $\frac{4}{3}T_0$
- 总结: 此题的对于可导热气缸 A 而言, 其温度始终与环境温度一致
注意活塞和气缸 B 是不导热的, 所以打开阀门后 B 的温度发生变化

2.3.29 IV-11: 双活塞平衡问题

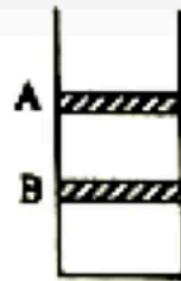
4、如图所示，竖直放置的气缸开口向下，活塞 a 和活塞 b 将长为 L 的气室中的气体分成体积比为 1: 2 的 A、B 两部分，温度均为 127°C，系统处于平衡状态。当气体温度都缓慢地降到 27°C 时系统达到新的平衡，不计活塞 a 的厚度及活塞与气缸间的摩擦。求活塞 a、b 移动的距离。(设外界大气压强不变)



- 正解: a 活塞向上移动 $\frac{1}{12}L$ b 活塞向上移动 $\frac{1}{4}L$
- 总结: 此题注意活塞与大气相连, 因此平衡态三气恒压为大气压.
且求出 a 活塞向上移动 $\frac{1}{12}L$ 后, 在求 b 活塞时得出 $\frac{2}{3}L$ 变为 $\frac{1}{2}L$
活塞 B 实际的移动距离需要考虑活塞 a 的移动距离 $\frac{2}{3}L + \frac{1}{12}L - x = \frac{1}{2}L \implies x = \frac{1}{4}L$

2.3.30 IV-12: 双活塞漏气问题

3、如图, 一底面积为 S、内壁光滑的圆柱形容器竖直放置在水平地面上, 开口向上, 内有两个质量均为 m 的相同活塞 A 和 B; 在 A 与 B 之间、B 与容器底面之间分别封有一定量的同样的理想气体, 平衡时体积均为 V。已知容器内气体温度始终不变, 重力加速度大小为 g, 外界大气压强为 P_0 。现假设活塞 B 发生缓慢漏气, 致使 B 最终与容器底面接触。求活塞 A 移动的距离。



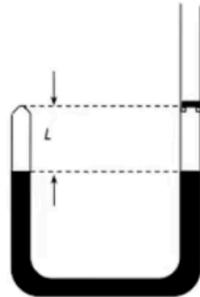
- 正解: $\Delta L = \frac{V}{S} \left(2 - \frac{(P_0 + \frac{3mg}{S})}{P_0 + \frac{mg}{S}} \right)$
- 总结: 活塞 B 漏气会使得下方气体 (气压更大) 向上充气. 但是整体的而言气体都在容器内
所以本质此问题是一个充气问题, 需要用到涉及物质的量的方程

$$\frac{(P_0 + \frac{mg}{S})V}{T_0} + \frac{(P_0 + \frac{2mg}{S})V}{T_0} = \frac{(P_0 + \frac{mg}{S})V'}{T_0} \implies V' = \frac{(P_0 + \frac{3mg}{S})}{P_0 + \frac{mg}{S}}$$

2.3.31 IV-13: U型管问题

2. 如图均匀薄壁U形管，左管上端封闭，右管开口且足够长，管的截面积为S，内装有密度为 ρ 的液体。右管内有一质量为m的活塞搁在固定卡口上，卡口与左管上端等高，活塞与管壁间无摩擦且不漏气。温度为 T_0 时，左、右管内液面等高，两管内空气柱长度均为L，压强均为大气压强 P_0 ，重力加速度为g。现使左右两管温度同时缓慢升高，在活塞离开卡口上升前，左右两管液面保持不动，试求：

- (1) 右管活塞刚离开卡口上升时，右管封闭气体的压强 P_1 ；
- (2) 温度升高到 T_1 为多少时，右管活塞开始离开卡口上升；
- (3) 温度升高到 T_2 为多少时，两管液面高度差为L。

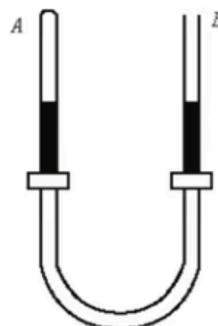


- 正解：(1) $P_1 = P_0 + \frac{mg}{S}$ (2) $T_1 = (1 + \frac{mg}{P_0 S})T_0$ (3) $T' = (1 + \frac{mg}{P_0 S} + \frac{\rho g L}{P_0})T_0$
- 总结：主要在于液面高度差 L ，在实际分析左侧试管下降高度为 $\frac{1}{2}L$

2.3.32 IV-14: U型管移动问题

例题 2、如图所示，粗细相同的导热玻璃管A、B由橡皮软管连接，一定质量的空气被水银柱封闭在A管内，气柱长 $L_1=40\text{cm}$ 。B管上方与大气相通，大气压强 $P_0=76\text{cmHg}$ ，环境温度 $T_0=300\text{K}$ 。初始时两管水银面相平，若A管不动，将B管竖直向上缓慢移动一定高度后固定，A管内水银面上升了 $h_1=2\text{cm}$ 。

- (1) 求：B管上移的高度为多少？
- (2) 要使两管内水银面再次相平，环境温度需降低还是升高？变为多少？（大气压强不变）

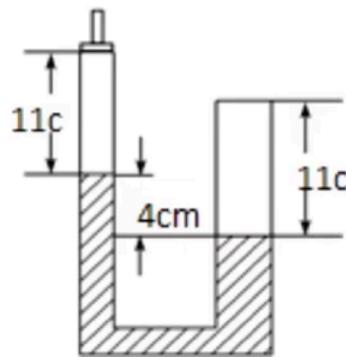


- 正解：(1) 8 cm (2) 270 k
- 总结：(1) 问容易得到错误答案6 cm，通过计算两管新的液柱高度差为4 cm，需要分步分析
由于A管液面上升了2 cm，即先向上移动试管2 cm，此时右侧液面低于左侧2 cm
再抬升B管直到右侧高于左侧4 cm，则需要抬升8 cm
- (2) 问由于液面高度差为4 cm，A管气柱此时38 cm需要上升2 cm到36 cm计算

2.3.33 IV-15: 不同粗细 U型管的活塞移动问题

3、如图所示，U形管两臂粗细不等，开口向上，右端封闭的粗管横截面积是开口的细管的三倍，管中装入水银，大气压为 76cmHg 。左端开口管中水银面到管口距离为 11cm ，且水银面比封闭管内高 4cm ，封闭管内空气柱长为 11cm 。现在开口端用小活塞封住，并缓慢推动活塞，使两管液面相平，推动过程中两管的气体温度始终不变，试求：

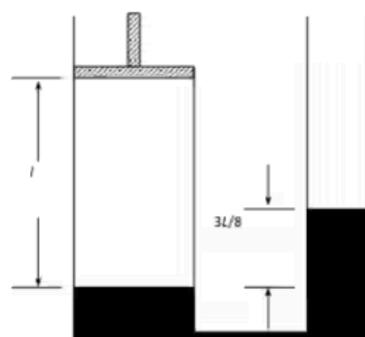
- (1) 粗管中气体的最终压强；
- (2) 活塞推动的距离。



- 正解：(1) 88cmHg (2) 4.5cm
- 总结：不同粗细的U型管的分析重点在于，某一侧上升或下降的高度，并不等于另一侧
需要严格使用 $\Delta V_{down} = \Delta V_{up} \Rightarrow sh_1 = 3sh_2 \quad h_1 + h_2 = 4\text{cm} \Rightarrow h_1 = 3\text{cm}$
最终左侧空气柱长度为 9.5cm ，计算推动距离需要加上液柱下降的高度， $11 + 3 - 9.5 = 4.5\text{cm}$

2.3.34 IV-16: 不同粗细 U型管的活塞移动问题 2

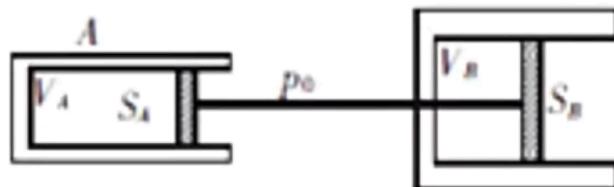
2、如图，一带有活塞的气缸通过底部的水平细管与一个上端开口的竖直管相连，气缸与竖直管的横截面面积之比为 $3:1$ ，初始时，该装置的底部盛有水银；活塞与水银面之间有一定量的气体，气柱高度为 L （以 cm 为单位）；竖直管内的水银面比气缸内的水银面高出 $\frac{3L}{8}$ 。现使活塞缓慢向上移动 $\frac{11L}{32}$ ，这时气缸和竖直管内的水银面位于同一水平面上，求初始时气缸内气体的压强（以 cmHg 为单位）



- 正解： $\frac{15}{8}L\text{cmHg}$
- 总结：此题优先给了活塞移动距离，可以利用此计算出末状态的空气柱长度，计算出 $P_0 = \frac{3}{2}L\text{cmHg}$

2.3.35 IV-17: 不同截面积双气缸活塞问题

2. 如图所示, 在固定的气缸 A 和 B 中分别用活塞封闭一定质量的理想气体, 活塞面积之比为 $S_A : S_B = 1 : 2$, 两活塞以穿过 B 的底部的刚性细杆相连, 可沿水平方向无摩擦滑动. 两个气缸都不漏气. 初始时, A、B 中气体的体积皆为 V_0 , 温度皆为 $T_0 = 300K$. A 中气体压强 $P_A = 1.5P_0$, P_0 是气缸外的大气压强. 现对 A 加热, 使其中气体的压强升到 $P_A' = 2P_0$, 同时保持 B 中气体的温度不变. 求此时 A 中气体温度 T_A .

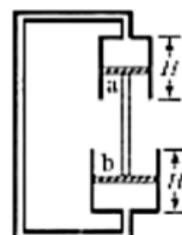


- 正解: $500 k$
- 总结: 此类问题需要对活塞进行受力平衡分析, 尤其小心因为面积不同而导致压力不同
受力平衡方程 $P_A S + P_B 2S = P_0 S + P_0 2S \quad P_B = 0.75P_0$
同理末状态的受力平衡方程可得 $P'_B = 0.5P_0$
 A 体积 $V_0 = SL$; B 体积 $V_0 = 2S\frac{L}{2}$, 末状态 B 的体积写为 $2S(\frac{L}{2} + \Delta L)$, 易解得 $\Delta L = 0.25L$

2.3.36 IV-18: 不同截面积单气缸活塞问题

1. 如图所示, 两竖直且正对放置的导热气缸底部由细管道 (体积忽略不计) 连通, 两活塞 a、b 用刚性杠杆相连, 可在两气缸内无摩擦地移动. 上下两活塞 (厚度不计) 的横截面积分别为 $S_1 = 10cm^2$ 、 $S_2 = 20cm^2$, 两活塞总质量为 $M = 5kg$, 两气缸高度均为 $H = 10cm$. 气缸内封有一定质量的理想气体, 系统平衡时活塞 a、b 到气缸底的距离均为 $L = 5cm$ (图中未标出), 已知大气压强为 $P_0 = 1.0 \times 10^5 Pa$, 环境温度为 $T_0 = 300K$, 重力加速度 g 取 $10m/s^2$. 求:

- 若缓慢升高环境温度, 使活塞缓慢移到一侧气缸的底部, 求此时环境温度;
- 若保持温度不变, 用竖直向下的力缓慢推活塞 b, 在活塞 b 由开始运动到气缸底部过程中, 求向下推力的最大值.



- 正解: (1) $400 k$ (2) $75 N$
- 总结: (1) 问的难点在于首先要分析到底是到哪一侧底才是合理的
其次在分析受力平衡方程时, 末状态某侧活塞触底, 但并不意味着去掉该侧内部气体的压强作用
如果去掉该侧内部气体压强来做计算则会得到 $200 k$ 降温结果 (上侧触底为例)
实际上由于整个过程时缓慢的, 所以需要考虑临界的情况, 该侧气体刚刚好还存在时
因此整个过程其实是恒压过程 (因此可以判断是上塞触底, 压强恒定温度升高要求体积上升)
(2) 问更加数学的做法是表示出 F 与 P 的关系 $F = P \times 10 \times 10^{-4} m^{-2} - 150N$

而压强可以表示为与下压深度的关系 $P = \frac{(15)^2 \times 10^4}{15-x}$ $x \in [0, 5]$

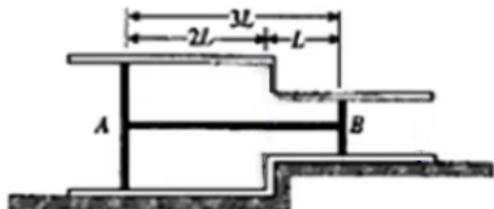
$$F = \frac{(15)^2 \times 10}{15-x} \text{ 因此 } x = 5 \implies F_{max} = 225 - 150 = 75 N$$

2.3.37 IV-19: 不同截面积单气缸活塞问题 2

3、如图所示，一水平放置的气缸，由截面积不同的两圆筒连接而成。活塞 A、B 用一长为 $3L$ 的刚性细杆连接。它们可以在筒内无摩擦地沿地沿水平方向滑动。活塞 A、B 的横截面积分别为 $S_A=40\text{cm}^2$ 、 $S_B=20\text{cm}^2$ 。A、B 之间封闭着一定质量的理想气体。气缸外大气的压强为 $P_0=1\times 10^5\text{Pa}$ 。温度 $T_0=294\text{K}$ 。初始时活塞 A 与大圆筒底部（大小圆筒连接处）相距 $2L$ ，气缸内气体温度为 $T_1=500\text{K}$ 时，

(1) 气缸内气体的温度缓慢降至 400K 时，活塞移动的位移。

(2) 缸内封闭的气体与缸外大气达到热平衡时，缸内封闭气体的压强。



- 正解: (1) 右移 L (2) $9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$

- 总结: 计算位移问题最好还是假设移动距离, 不要直接带体积

初体积表示为 $10^{-2} L$, 末体积表示为 $10^{-2} \times (L - 0.2 x)$

(2) 间的巧妙之处需要判断在降温的过程中, 左侧挡板向右移动过程中被挡住时的温度 300K

此温度是大于 294K 的, 因此接下来的降温过程是等体降温计算压强的过程 (末体积已知, 末温度已知)

2.3.38 IV-20: 热力学第三定律做功计算

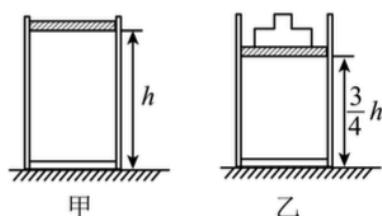
13. 如图甲所示, 导热性能良好的圆柱形汽缸放在水平地面上, 开口向上, 用横截面积为 S 的活塞封闭一定质量的理想气体, 活塞到汽缸底部的距离为 h , 此时环境温度为 T 。(热力学温度)。已知大气压强恒为 p_0 ,

活塞的质量为 $m = \frac{p_0 S}{g}$ 现将一质量也为 m 的重物轻放在活塞上, 同时缓慢升高环境温度, 活塞静止后到汽缸

底部的距离为 $\frac{3}{4}h$ (如图乙所示), 该过程气体从外界吸收的热量为 Q 。重力加速度为 g , 不计活塞与汽缸之间的摩擦, 求:

(i) 最终气体的热力学温度 T

(ii) 上述过程中气体内能的变化量 ΔU



- 正解: (1) $\frac{9}{8}T$ (2) $Q + \frac{3}{4}P_0Sh$

- 总结: 做功计算是准静态过程, 此过程中所有的力视为不变
受力分析包括: 物块与活塞重力, 大气压力

3 高三

3.1 2023 届巴蜀中学高考适应性月考 (十)

3.1.1 I-6: 同步卫星

6. 气象卫星轨道大致分为两种，一种是地球同步轨道，另一种是太阳同步轨道。

“风云一号”是我国第一颗太阳同步轨道气象卫星，它的轨道高度距地面900km，如图5所示。已知地球半径为 6.4×10^6 m，现仅考虑卫星绕地球的运动，则“风云一号”的

- A. 在轨正常运行速度大于7.9km/s
- B. 向心加速度小于地球同步卫星的向心加速度
- C. 绕地运行一圈约为102分钟
- D. 绕地运行一圈约为52分钟

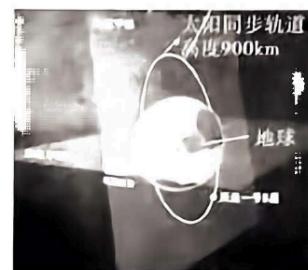


图5

- 正解: C
- 总结:
 - 近地卫星: 其运动轨道半径约为地球半径, 因此为最大的环绕速度 7.9km/s , 周期为85分钟(不用记忆)
 - 同步卫星: 其周期与地球自转相同为24h
- 扩展: 第三与四个选项的计算需要知道两个竖数值中的一个
 - 同步卫星的轨道高度为 $3.6 \times 10^7\text{m}$, 然后用开普勒第三定律定理. 开普勒行星运动定律(不用纠结证明)
 - * 第一定律: 行星运动在椭圆轨道上, 太阳处于椭圆的焦点上
 - * 第二定律: 行星与太阳的连线在相同时间内扫过的面积相等
 - * 第三定律: $\frac{r^3}{T^2} = k$
 - 近地卫星的周期为85分钟, 根据第三定律得知太阳同步轨道卫星的周期至少大85分钟, 因此选C

3.1.2 II-1: 简谐波的图像问题

8. 一简谐横波在水平方向上传播, $t=1\text{s}$ 时的波形图如图7甲所示, A、B为该波上的两个质点, 图乙所示为质点A的振动图像, 已知相邻波峰与波谷之间的距离为4m, 下列说法正确的是

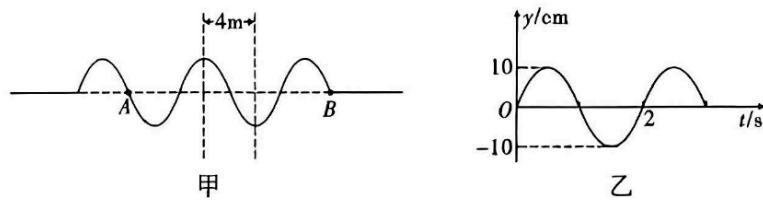


图7

- A. 波速为2m/s
- B. 该波沿水平向左传播
- C. B点的起振方向为竖直向下
- D. 从 $t=1\text{s}$ 时刻开始, 再经过 $\frac{4}{3}\text{s}$, 质点A通过的路程为 $(20+5\sqrt{3})\text{cm}$

- 正解: BD
- 总结: 选项 C 问的是起振 ($t = 0s$) 方向, 而题目图乙是给的 $t = 1s$ 的质点振动图
选项 D 需要求 $t = \frac{1}{3}s$ 时对应的 y 值, 所以需要根据图像中已知数据点求解三角函数的具体表达式
证明. 设 $y = 10 \sin \omega t + \varphi_0$

$$\begin{aligned}t &= 0s \quad \sin \varphi_0 = 0 \implies \varphi_0 = 0 \\t &= 1s \quad \sin \omega = 0 \implies \omega = n\pi \\t &= \frac{1}{2}s \quad \sin \frac{\omega}{2} = 1 \implies \omega = \pi + 4n\pi\end{aligned}$$

□

$$y = 10 \sin \pi t \quad t = \frac{1}{3}s \implies y = 10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 5\sqrt{3}$$

3.1.3 II-3: 动生电动势的平均值问题

10. 如图 9 所示, 水平面上固定有足够的长的两平行光滑金属导轨, 导轨间的正方形区域 $abcd$ 有竖直向上的匀强磁场, 磁感应强度大小为 $B = 0.5T$, 该区域边长为 $L = 1m$ 。导轨的水平部分和倾斜部分由光滑圆弧连接。质量为 $m_1 = 0.1kg$ 的金属棒 P 和另一根质量为 $m_2 = 0.4kg$ 的金属棒 Q 分别静置在导轨上的不同位置, 如下图所示。现将金属棒 P 从离水平面高度 h (单位为米) 处静止释放。若两棒发生碰撞, 则所有碰撞均为弹性碰撞。已知两金属棒的电阻值均为 $R = 0.5\Omega$, 重力加速度取 $g = 10m/s^2$, 感应电流产生的磁场及导轨的电阻忽略不计, 两根金属棒运动过程中始终与导轨垂直且接触良好。下列说法正确的是

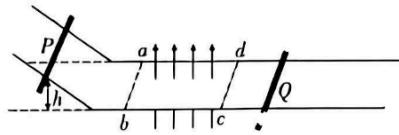


图 9

A. P 刚进入磁场时受到的安培力 F 的大小为 $\frac{\sqrt{5}h}{2}N$

B. 每当 P 完整穿过磁场区域, P 的速率就减小 $5m/s$

C. 当 $h \leq \frac{5}{16}m$, P 和 Q 不会发生碰撞

D. 当 $h = \frac{605}{16}m$, P 和 Q 恰好不发生第二次碰撞

- 正解: ACD
- 总结: 选项 B, $E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$, 在高中阶段 Δt 较小的时候为瞬时电动势, 当 Δt 较大的时候, 即为一个过程量得到的是 \bar{E} , 因此可以得到 \bar{I}, \bar{F}

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{B \cdot \Delta S}{\Delta t} \\I &= \frac{\varepsilon}{2R} = \frac{B}{2R} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} \\F &= BIL = \frac{B^2 L \Delta S}{2R \cdot \Delta t} \\F \cdot \Delta t &= \frac{B^2 L \Delta S}{2R} = m(v_t - v_0)\end{aligned}$$

复杂变化的安培力对导体棒的冲量，仅仅与面积的改变量有关 \Rightarrow 速度的变化量仅与走过的面积有关
选项 D，恰好不能第二次碰撞即再次扫过 2 次磁场面积后速度为零 第一次碰后速度

3.1.4 IV-1: 均匀滴落的沙漏问题

13. (10 分) 如图 13 是高中物理必修 1 课本封面上的沙漏照片。若近似认为砂粒下落的初速度为 0，不计砂粒间下落时的相互影响，设砂粒随时间均匀漏下，忽略空气阻力，重力加速度 g 取 10m/s^2 。

- (1) 求一颗砂粒下落过程第 2 个 0.1s 内的位移大小；
- (2) 同学们发现照片中的砂粒在空中时都看不出砂粒本身的形状，而是成了条条痕迹，砂粒的疏密分布也不均匀，若出口下方 $0\sim 1\text{cm}$ 范围内有 20 粒砂粒，则出口下方 $4\sim 9\text{cm}$ 范围的砂粒数约为多少？



图 13

- 总结：好题收藏，第二问关键在于「沙粒随时间均匀漏下」，从已知条件中求出沙粒平均流量，计算第二段的时间长度即可

3.1.5 IV-2: 折射率几何大题

14. (13 分) 真空中一正三棱柱形透明体，其横截面如图 14 所示。 $AB=AC=BC=6R$ ，透明体中心有一半径为 R 的球形真空区域，一束平行单色光垂直 AB 面射向透明体。已知透明体对该单色光的折射率为 $\sqrt{2}$ ，光在真空中的传播速度为 c 。求：

- (1) 如图所示，光线从 D 点射入时恰好与真空球相切，请问该光线是从 AC 边还是 BC 边射出透明体？并求该光线穿过透明体所需要的时间；
- (2) 为使光线不能从 AB 面直接射入中间的球形真空区域，则须在透明体 AB 面贴上不透明纸，求不透明纸的最小面积。

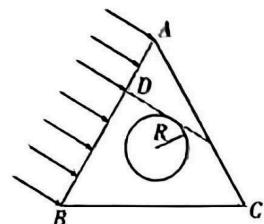


图 14

- 总结：第一问当光垂直入射界面交界处 or 平行入射界面交界处，光路沿原方向继续传播
- 第二问不难，即光线接触真空区域时，以临界角 $\frac{\pi}{2}$ 射入，值的思考的是遮挡面积是一个圆形域

3.1.6 IV-3: 磁聚焦 + 区域面积问题

15. (18分) 如图15所示, 真空中A位置存在一带电粒子发射器能够瞬间在平面内发射出大量初速度大小为 v_0 带电量相同的正电荷, 电荷以不同的人射角 θ (θ 为 v_0 与 x 轴正方向的夹角且 $0 < \theta \leq 90^\circ$) 射入半径为 R 的圆形边界匀强磁场 (图中未标出), 圆形磁场刚好与 x 轴相切于A点, 所有电荷均在该磁场的作用下发生偏转, 并全部沿 x 轴正方向射出。图中第三象限虚线下方一定区域存在着方向沿 y 轴正向的匀强电场, 虚线刚好经过C点 (C为实线圆最右端的点) 且顶点与O点相切, 同时观察到进入该电场区域的所有电荷均从O点射入第一象限, 第一象限内存在范围足够大的垂直于平面向里磁感应强度大小为 B_2 的匀强磁场, O点上方沿 y 轴正方向放置足够长的荧光屏, 电荷打在荧光屏上能够被荧光屏吸收。已知电荷的质量为 m , 电荷量大小为 q , OA 的距离为 $2R$, 不考虑电荷所受重力及电荷之间的相互作用力。求:

- (1) 圆形磁场磁感应强度 B_1 的大小及方向;
- (2) 匀强电场上边界虚线的函数表达式;
- (3) 所有电荷在第一象限内运动轨迹所经过的区域的面积。
(当 $\tan\alpha=2$, $\alpha \approx 0.35\pi$)

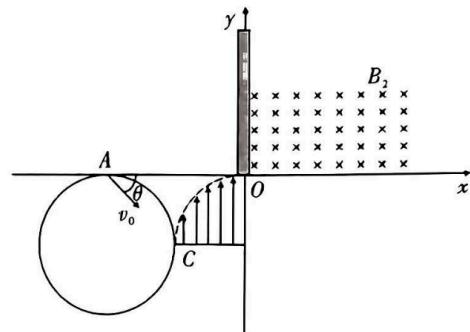
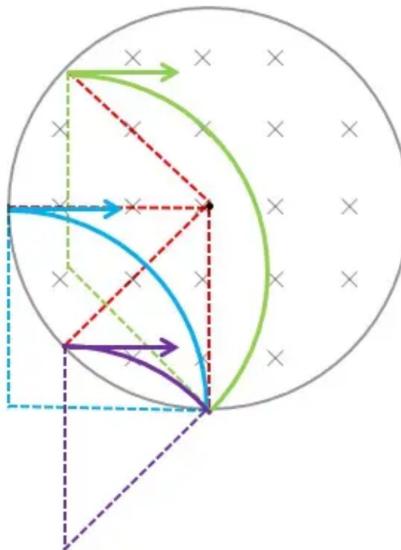


图 15

- 总结: 第一问考的磁聚焦 (证明通过相似三角形), 粒子旋转半径刚好为磁场半径 R , 也可以取特殊角度 $\frac{\pi}{2}$



- 第二问不难, 注意电场需要求出来, 设射入电场的粒子 (x_0, y_0) , 位移为坐标的负数. $E = \frac{2mv^2}{qR}$ $y = -\frac{1}{R}x^2$
- 第三问比较特殊, 需要设 h (距离下 x 轴的距离), 去求不同高度下打到 y 轴上点的坐标, 设进入第二磁场区域的速度方向与 x 轴成 θ 角, 打击点 $y = 2r \cos \theta$

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4h}{R}}} = 1 \quad r = \frac{mv}{qB_2} = \frac{mv_0 \sqrt{1 + \frac{4h}{R}}}{qB_2} = \frac{mv_0 k}{qB_2}$$

$$2r \cos \theta = \frac{2mv_0}{qB_2}$$

因此不同速度的粒子打在 y 轴上的点为同一点

$$h = 0 \implies r_0 = \frac{mv_0}{qB_2} \quad h = R \implies r_1 = \frac{\sqrt{5}mv_0}{qB_2} \quad \theta = 0.35\pi$$

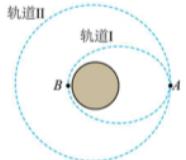
$$\begin{aligned} S_0 &= \frac{1}{2} \cdot \pi r_0^2 = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{mv_0}{qB_2}\right)^2 \\ S_1 &= \pi r_1^2 \left(\frac{\pi - 2\theta}{2\pi}\right) - r_1^2 \sin \theta \cos \theta = \left(\frac{3\pi}{4} - 2\right) \cdot \left(\frac{mv_0}{qB_2}\right)^2 \\ S &= S_0 - S_1 = \left(\frac{8 - \pi}{4}\right) \cdot \left(\frac{mv_0}{qB_2}\right)^2 \end{aligned}$$

3.2 2024 八中高考适应性月考 (六)

3.2.1 I-1: 万有引力航天

如图 4 所示，“夸父一号”卫星先被发射到椭圆轨道 I 上，在 A 处通过变轨转移至圆轨道 II 上运行，圆轨道 II 距离地面 720km。A、B 分别为椭圆轨道 I 的远地点和近地点，已知地球同步卫星距离地面 36000km，则

- A. 卫星沿轨道 I、II 经过 A 点时的加速度相等
- B. 卫星沿轨道 II 运行的周期大于地球同步卫星的周期
- C. 卫星沿轨道 II 运行的机械能小于地球同步卫星的机械能
- D. 卫星经过 B 点时的速度小于沿轨道 II 经过 A 点时的速度

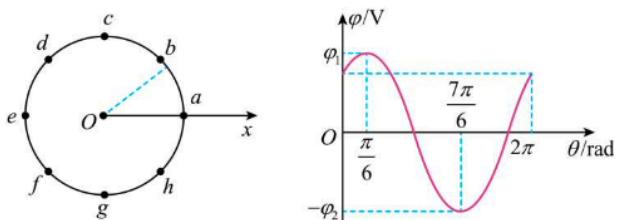


- 正解: A
- 总结: 正确选项容易选出, 仅需要判断此时的万有引力的大小, 没有涉及变轨时的加减速. 选项 C 的引力势能的计算是 $E_p = -\frac{GmM}{R}$. 但是这里注意是两个卫星的机械能比较, 无法知道质量关系 (易错点)

3.2.2 I-2: 电势计算

纸面内存在沿某方向的匀强电场, 在电场中取 O 点为坐标原点建立 x 轴, 以 O 为圆心、 R 为半径, 从 x 轴上的 a 点开始沿逆时针方向作圆, a~h 是圆周上的 8 个等分点, 如图 7 甲所示; 测量圆上各点的电势 φ 及各点所在半径与 x 轴正方向的夹角 θ , 描绘的 $\omega-\theta$ 图像如图 7 乙所示, 则

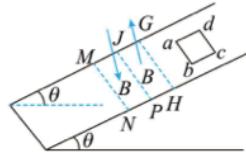
- A. 电场强度的大小为 $\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2R}$
- B. O 点的电势为 $\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$
- C. a、e 两点的电势差为 $\frac{\sqrt{3}(\varphi_1 + \varphi_2)}{2}$
- D. 若将电子从 e 点沿圆弧逆时针搬运到 f 点, 电势能先减小再增大



- 正解: C
- 总结: 比较有新意的一道题, 重点在于找到等势能的两点并连接, φ_1 φ_2 的大小位置, 应该根据对称性计算出 $\varphi = 0$ 的两个位置的角度为 $\frac{2\pi}{3}$ $\frac{5\pi}{6}$, 由此可以得到电场线的方向.

3.2.3 II-1: 纯电阻动生电动势杆模型

如图 10 所示,在倾角为 θ 的光滑斜面上,存在两个磁感应强度大小均为 B 、方向相反的匀强磁场,磁场方向与斜面垂直,两磁场的宽度 MJ 和 JG 均为 L ,一个质量为 m 、电阻为 R 、边长也为 L 的正方形导线框,由静止开始沿斜面下滑,当 ab 边刚越过 GH 进入磁场时,线框恰好以速度 v_0 做匀速直线运动;当 ab 边下滑到 JP 与 MN 的中间位置时,线框又恰好以速度 v 做匀速直线运动,则

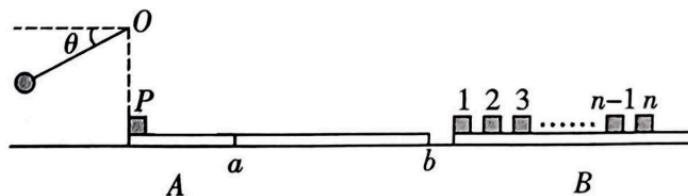


- A. 当 ab 边刚越过 GH 进入磁场时, cd 边电势差 $U_{cd} = \frac{BLv_0}{4}$
 - B. 当 ab 边刚越过 JP 时, 线框加速度的大小为 $3g\sin\theta$
 - C. 从 ab 边刚越过 JP 到线框再做匀速直线运动所需的时间 $t = \frac{1}{mgs\in\theta} \left(\frac{2B^2L^3}{R} - \frac{3}{4}mv_0 \right)$
 - D. 从 ab 边刚越过 GH 到 ab 边刚越过 MN 过程中, 线框产生的热量为 $2mgL\sin\theta + \frac{3}{8}mv_0^2$
- 正解: BC
 - 总结: 注意有两个磁场区域均在切割.C 选项需要求得第二个匀速运动的速度大小 $\frac{1}{4}v_0$ 在根据动量定理(平均值法)计算时间. 选项 D 使用动能定理即可

3.2.4 IV-1: 变质量多次碰撞与数列

15. (18 分) 如图 14 所示,固定平台 A 长度 $L_1 = 1.15m$, 右端紧挨着水平木板 ab , 木板 ab 长度 $L = 2m$ 质量 $M = 2kg$, 木板 b 端与足够长的固定平台 B 之间的距离为 $L_2 = 0.25m$, 木板上表面跟平台 A 、 B 等高。质量均为 $m = 1kg$ 的滑块 1、滑块 2 …… 滑块 n 从左向右依次静止于平台 B 上, 滑块 1 位于平台 B 的左端, 相邻两滑块间的间距均为 d , 滑块均可视为质点。质量 $m_0 = 3kg$ 的小球用长度 $l = 1.6m$ 的细绳栓接在 O 点, 无初速度释放时细绳刚好伸直且与水平方向夹角 $\theta = 30^\circ$, 运动到最低点时与质量 $m = 1kg$ 的滑块 P 发生弹性碰撞, 碰撞后滑块 P 沿平台 A 滑动, 之后滑上木板, 当木板的 b 端撞到平台 B 时立即静止。滑块 P 与滑块 1 相碰后粘在一起, 两滑块继续运动, 直至与滑块 2 相碰, 碰后三滑块粘在一起继续运动…… 后面重复前面的运动情况, 所有碰撞时间极短。已知滑块 P 与平台 A 、木板 ab 之间的动摩擦因数均为 $\mu_1 = 0.5$, 木板 ab 与水平面之间的动摩擦因数为 $\mu_2 = 0.1$, 各滑块与平台 B 之间的动摩擦因数均为 μ , 取 $g = 10m/s^2$ 。求:

- (1) 小球与滑块 P 碰撞前瞬间, 细绳的拉力大小;
- (2) 滑块 P 与滑块 1 碰撞前瞬间的速度大小;
- (3) 设滑块 P 与滑块 1 碰撞前瞬间的动能为 E_{k0} , 若能与滑块 n 相碰, 请写出与滑块 n 碰撞前瞬间已经粘到一起的滑块的总动能的表达式。



- 正解:
 - (1) $60N$
 - (2) $\sqrt{2} m/s$
 - (3) $E_{kn0} = \frac{1}{n}E_{k10} - \frac{2^2+3^2+\dots+n^2}{n}mg\mu d$
- 总结: 重点在于第三问, 每次质量碰撞后会发生改变, 这会影响每一阶段的动量定理以及摩擦力做功得到递推公式后变成数学问题

假设第 $n - 1$ 次碰撞后的动能为 $E_{k(n-1)1}$, 此时有 n 个物块黏黏

$$E_{kn0} = E_{k(n-1)1} - nm\mu d$$

研究第 $n - 1$ 次碰撞过程, 物块由 $n - 1$ 个增大到 n 个

$$nmV_{(n-1)1} = (n - 1)mV_{(n)0}$$

$$V_{(n-1)1} = \frac{n-1}{n} V_{(n-1)0}$$

$$E_{k(n-1)1} = \frac{1}{2} nmV_{k(n-1)1}^2 = \frac{1}{2} nm \left(\frac{n-1}{n}\right)^2 V_{(n-1)0}^2$$

$$E_{k(n-1)1} = \frac{n-1}{n} \frac{1}{2} (n-1)mV_{(n-1)0}^2 = \frac{n-1}{n} E_{k(n-1)0}$$

$$E_{kn0} = \frac{n-1}{n} E_{k(n-1)0} - nm\mu d \quad (\text{递推公式})$$

$$nE_{kn0} = (n-1)E_{k(n-1)0} - n^2 m\mu d$$

$$(n-1)E_{k(n-1)0} = (n-2)E_{k(n-2)0} - (n-1)^2 m\mu d$$

...

$$2E_{k20} = E_{k10} - 2^2 m\mu d$$

累加相消

$$nE_{kn0} = E_{k10} - (2^2 + 3^2 + \dots + n^2) m\mu d$$

$$E_{kn0} = \frac{1}{n} E_{k10} - \frac{(2^2 + 3^2 + \dots + n^2)}{n} m\mu d$$

3.3 2024 八中高考适应性月考 (七)

3.3.1 I-1: 霍尔元件

如图 5 甲所示是检测电流大小是否发生变化的装置。该检测电流 (方向如图甲)在霍尔元件中产生磁场, 其磁感应强度与检测电流成正比, 其中的霍尔元件由金属制成, 放大后如图乙所示, 长、宽、高分别为 a 、 b 、 d ; 现给霍尔元件通一恒定工作电流 I , 则

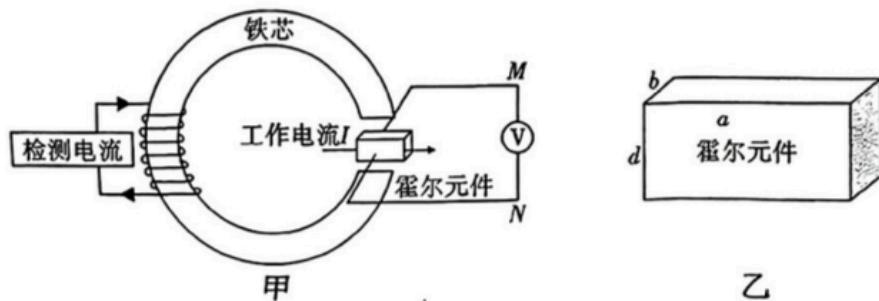


图 5

- A. M 端应与电压表的负接线柱相连
 - B. 在相同的检测电流下, 要增大电压表读数可适当减小霍尔元件高度 d
 - C. 如果仅将检测电流反向, 电压表的正、负接线柱连线位置无需改动
 - D. 当霍尔元件的材料与尺寸一定时, 电压表示数变小, 说明检测电流变大
- 正解: B
 - 总结: 霍尔元件的载流子是电子, 在具体分析电荷偏转积累的时候必须考虑的是电子的移动才能正确判断极板的正负. 同时涉及电流的微观表达式进行解题 $I = nevs$.

3.3.2 II-1: 弹簧与杆环模型

10.如图 9 所示,一根竖直杆的上端套有一个圆环,圆环质量为 m ,杆的质量为 $3m$,杆与圆环之间的最大静摩擦力 $f = 2mg$ 。现将杆和环由静止释放,下落 h 距离后恰与正下方的竖直轻弹簧接触。继续下落至某处时,杆与环恰好相对滑动,从此时经时间 t 后杆运动到最低点。已知重力加速度为 g ,最大静摩擦力等于滑动摩擦力,环未滑离杆,环与杆始终在竖直方向运动,且弹簧始终在弹性限度内,不计空气阻力。则

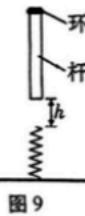


图 9

- A. 杆与环接触弹簧后立即做加速度增大的减速运动
- B. 杆与环恰好相对滑动时,弹簧的弹力大小为 $8mg$
- C. 杆与环恰好相对滑动时,它们的速度大小为 $\sqrt{2gh}$
- D. 从杆与环恰好相对滑动到它们的加速度再次相同的进程中,杆、环、弹簧系统损失的机械能为 $4mg(\sqrt{2gh} \cdot t - gt^2)$

- 正解: *BCD*
- 总结: C 选项比较难做, 需要求解出在刚好发生相对滑动的时候整体向上的加速度为 g 而在刚接触弹簧的时候加速向下也为 g , 同时此时的速度为 \sqrt{gh} 因此可以由对称性判断在刚好发生相对滑动的时候的速度为 \sqrt{gh} D 选项对杆而言, 回到相同的加速度意味着压缩到底端后再向上运动到之前的长度此过程中杆的重力势能不变, 弹性势能不变, 甚至摩擦力在这个对称过程中所做功为 0 因此仅需要计算环所受摩擦力做的功即可 (初速度加速度知道, 时间为 $2t$, 摩擦力大小知道)

3.3.3 III-2: 电容测量实验

12.(9 分)某兴趣小组欲测量自制电容器的电容大小。如图 11 甲所示,该小组先利用锡箔纸(主要成分为铝)充当电容器的极板,用一叠 A4 纸充当电解质(实验中压紧),制作了一个电容器 C ,设计了如图乙所示的电路图,电池的电动势 $E = 3V$, R 为滑动变阻器, R_1 为定值电阻, μA 为电流传感器, V 为电压表, S_1 为单刀单掷开关, S_2 为单刀双掷开关, 初始时: S_1 、 S_2 均断开。请回答下列问题:

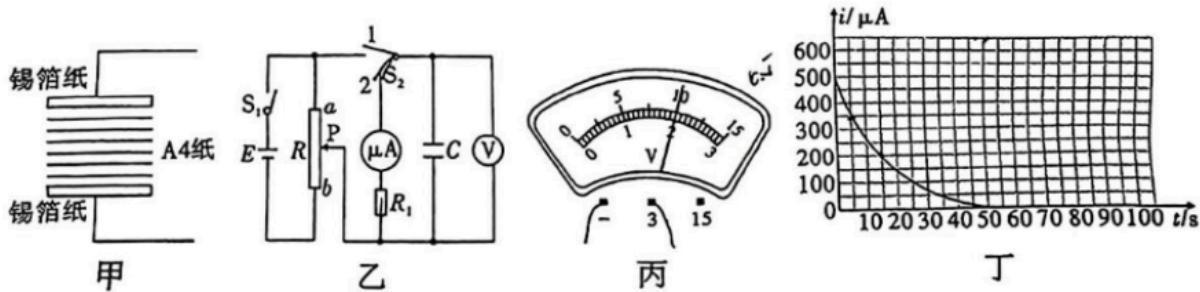


图 11

- (1) 在闭合 S_1 前, 应将滑动变阻器的滑片 P 滑至 _____ (选填“a”或“b”) 端。
- (2) 闭合 S_1 , S_2 拨至 1, 调节滑片 P, 稳定后电压表示数如图丙, 则其读数为 _____ V; 再将 S_2 拨至位置 2, 记录电流传感器显示的电流随时间的变化关系 $i-t$ 图像如图丁所示, 则电容器的电容为 _____ F (保留 3 位有效数字)。
- (3) 若已知定值电阻 R_1 的阻值, 能否结合题中所给数据测量出电流传感器 μA 的阻值? 并说明理由: _____

- 正解:

- (1) a
- (2) $2.00 \sim 3.5 \times 10^{-3}$ 左右

- (3) 可以, 纵截距的大小表示初始放电时的电流大小, 此时的电压可近似当作电容稳定时的电压值, 除以电流得到电阻, 再减去 R_1
- 总结: 初始状态滑动变阻器置于支路分压最大的一端以保护电路
 $C = \frac{Q}{U} = \frac{I\Delta t}{U} \Rightarrow I-t$ 图围成的面积是总电荷量
通过计算每个方格的电荷量大小同时数方格再除以稳定状态时的电压得到电容大小.
- 扩展: 电阻的作用是为了延缓电容器充电或放电的速度.
在同一 $I-t$ 图中充放电的电流方向不同因此位于不同象限. 电压同象限
电容器的充电电路中的短路或漏电分析, 可以先假设电容器短路, 计算短路电流与纵截距比较大小,
若远小于纵截距电流值说明电容器在一边漏电一边充电, 导致电流表计数稳定为一较小定植
纵截距: 表示初始放电电流, 电阻越小电流值越大
横截距: 表示总的充放电时间, 电阻越大时间越长

3.4 2024 巴蜀高考适应性月考 (八)

3.4.1 I-1: 摩擦力和接触面的大小关系

如图 4 所示, 一足够长的斜面的倾斜角为 θ , 边界 AB 和 CD 之间粗糙, 其余光滑, 且 $AD=BC=3L$ 。有两块相同的矩形滑块 E 和 F, 每个滑块质量分布均匀且大小均为 m , 长度均为 L , 与粗糙区之间的动摩擦因数 $\mu=2\tan\theta$ 。两滑块紧靠在一起 (不粘连) 以初速度 v_0 垂直于边界 AB 冲入粗糙区, 下列说法中错误的是

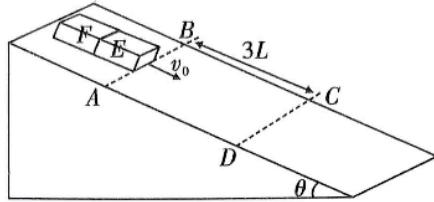


图 4

- A. 系统进入粗糙区的过程, 当位移为 L 时, EF 体系的速度最大
- B. 系统进入粗糙区的过程, E 对 F 的弹力先增大后减小
- C. 滑块 E 的下边缘滑出边界 CD 的瞬间, 滑块 E 和 F 分离
- D. 要保证两个滑块都滑出粗糙区域, $v_0 \geq \sqrt{4gL\sin\theta}$

- 正解: D
- 总结: 考察滑动摩擦力大小与接触面积大小 (非质点模型) 的关系. 特别的类似 2024 八中高考适应性月考 (七) 的 II-1, 在此题中进入摩擦区的加速度恰好与完全进入摩擦区的加速度大小上一样大的 (平均加速度大小其实为 0), 因此具有对称性, 速度不变, 重力势能在这个过程全部转化为摩擦力做功

3.4.2 II-1: 电容器中带电粒子的偏转问题

如图 6 所示, 一平行板电容器两极板水平放置, 极板间距为 d , 长度为 $4d$ 。开始时接到一个直流电源上, 开关闭合, 电源电动势恒定。一个带负电的粒子以 $v_0 = 3\sqrt{gd}$ 从两板正中央水平向右射入电容器, 恰好沿着图中虚线做匀速直线运动, 粒子质量为 m 。则

- A. 断开开关, 将上板上移 $\frac{d}{3}$, 粒子会向上偏转
- B. 断开开关, 将上板上移 $\frac{d}{3}$, 粒子仍然做匀速直线运动
- C. 保持开关闭合, 将上板上移 $\frac{d}{3}$, 粒子从原位置入射, 会击中下板且击

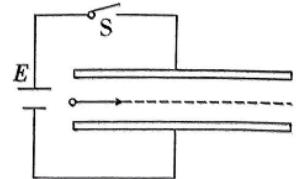


图 6

- D. 保持开关闭合, 电动势翻倍, 粒子从原位置入射, 会击中上板, 且击中前瞬间的动能为 $5mgd$

• 正解: BD

• 总结:

断开开关, 电荷量不变, 电荷密度不变, 场强不变, 故粒子不偏转, 故 A 错误, B 正确。保持开关闭合, 电势差一定, 将上板上移 $\frac{d}{3}$, 由 $E = \frac{U}{d}$ 知 $E' = \frac{3}{4}E$, 所以粒子向下偏

$$\text{转: } a_y = \frac{mg - qE'}{m} = \frac{1}{4}g, \text{ 若击中下板: } t = \sqrt{\frac{2y}{a_y}} = \sqrt{\frac{2 \times \frac{1}{2}d}{\frac{1}{4}g}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{d}{g}}, \text{ 那么 } x = v_0 t = 6d,$$

故 C 错误。保持开关闭合, 电动势翻倍, 那么向上偏转: $a_y = \frac{qE' - mg}{m} = g$, 由分析知

能击中上板, 且 $E_K = \frac{1}{2}mv_0^2 + (qE' - mg) \cdot \frac{1}{2}d = 5mgd$, 故 D 正确。

3.4.3 II-2: 匀速运动的磁场切割问题

如图 7 所示，两平行金属导轨固定在水平面上（导轨电阻不计），导轨间距为 $L=2\text{m}$ ，在导轨所在的平面内，分布着垂直于导轨平面的磁感应强度为 $B=0.5\text{T}$ 的匀强磁场。导轨的一端接有电动势 $E=5\text{V}$ 、内阻 $r=0.5\Omega$ 的电源，串联一电阻 $R=2.5\Omega$ 。一导体棒垂直于轨道放在金属导轨上，导体棒的电阻不计、质量 $m=1\text{kg}$ ，与导轨的动摩擦因数 $\mu=0.5$ 。当磁场以 $v_0=12\text{m/s}$ 的速度匀速向右移动时，导体棒恰好能向右匀速移动，且导体棒一直在磁场内部，则下列说法正确的是

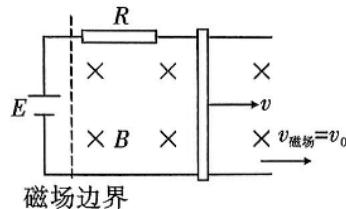


图 7

- A. 导体棒运动的速度为 2m/s
- B. 安培力对导体棒做功的功率为 10W ，故电路发热的热功率为 10W
- C. 导体棒和轨道摩擦生热的功率为 10W
- D. 电源产生的电功率和外力对磁场做功的功率之和为 85W
- 正解: *ACD*
- 总结:
 - (1) 稳定运行的状态存在 3 个电动势，电源电动势，磁感应电动势，动生电动势（或者使用相对速度计算）
 - (2) 对于电动势非完全由磁感方式提供，那么克服安培力做功并不等于电路产生的焦耳热

3.4.4 IV-1: 非特征性动量守恒与周期性运动

(18分) 如图12, 足够长的木板B静止放置在绝缘地面上, 物块C静止放在B的正中间, 物块A静止放在距离B左端 x_0 处, 竖直挡板P固定在距离木板右端足够远处。A与地面没有摩擦力, B、C之间、B与地面之间动摩擦因数均为 μ 。物块A带正电, 电荷量为 q , B、C不带电。A、B、C质量分别为 $4m$ 、 $2m$ 、 m 。现给整个空间施加一个水平向右的匀强电场, 之后A、B碰撞后共速但不粘连, 且A的电荷量始终保持不变。最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 重力加速度为 g 。若B与挡板P的碰撞皆为弹性碰撞, 且B和P碰撞瞬间A与B不弹开。每次碰撞后将挡板P重新固定到足够远处, 保证每次与挡板P碰撞前, A、B、C一起做匀速直线运动, 求:

- (1) 匀强电场的电场强度为多大?
- (2) 木板B与挡板第一次碰撞后, A、B之间的最大距离为多少?
- (3) 最终物块C停留在B上何处?

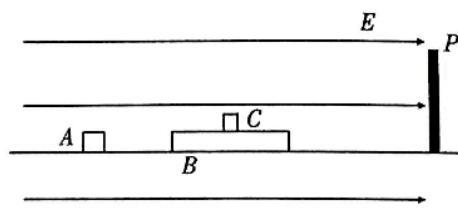


图 12

- 正解:

$$(1) E = \frac{3mg\mu}{q}$$

$$(2) x_1 = \frac{10}{49}x_0$$

$$(3) s = \frac{4}{39}x_0$$

- 总结:

- (1) 整体向右匀速运动, 得到受力平衡方程
- (2) A与B碰撞时尽管存在来自两个摩擦面的受力但是仍旧视为动量守恒, 其次仅计入B的质量, 且电场力与ABC整体摩擦力大小相等, 所以动量也守恒
- (3) 考察周期性运动, 每次弹回AB间有一新距离, 且这个距离和上一次距离有一比例关系

3.5 2024 八中高考适应性月考 (五)

3.5.1 I-1: 质子数-中子数元素衰变图

放射性始祖核素经过一系列连续的递次衰变, 直至生成一个稳定核素, 称为衰变链。已知 $^{235}_{92}\text{U}$ 的衰变链如图4所示。则

- A. 纵坐标为中子数, 横坐标为核电荷数
- B. $^{235}_{92}\text{U}$ 衰变最终生成的稳定核素为Y
- C. 一个 $^{235}_{92}\text{U}$ 衰变生成X, 共释放4个电子
- D. $^{235}_{92}\text{U}$ 衰变最终生成的稳定核素, 共有两种不同的衰变路径

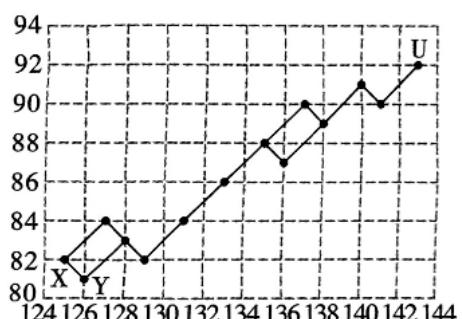


图 4

- 正解: C

- 总结：横坐标为中子数， $^{207}_{81}\text{Y}$ 还可以进行 β 衰变到 $^{207}_{82}\text{X}$ ，衰变途径 $2 \times 2 = 4$ ，没有特别。

3.5.2 I-2: 隐含全反射考察

在水池底水平放置四条线状灯带构成边长为 0.6m 的正方形，灯带平面到水面的距离为 $\frac{\sqrt{7}}{15}\text{m}$ ，水的

折射率为 $\frac{4}{3}$ ，不考虑多次反射。则水面有光射出的区域面积为

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| A. $(0.80+0.04\pi)\text{m}^2$ | B. 1m^2 |
| C. 0.96m^2 | D. $(0.92+0.04\pi)\text{m}^2$ |

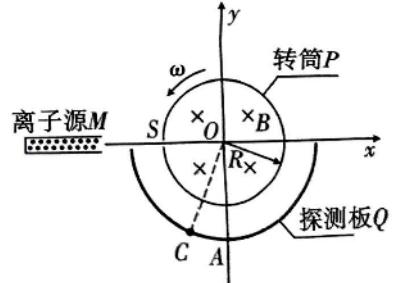
- 正解：C

- 总结：实际上是在计算临界的全反射现象，要考虑到某一条的两端可以朝两个方向射出被全反射的光（二维下），同时要计算两个端点，会发现中间有空白区域无法有光，画出俯视图，每个点在水面上可被观察到成圆形，沿着正方形边缘平移此圆，中间有一正方形区域为无光区域，计算面积时，将图像补充为 1m 的正方形减去中间和四个角

3.5.3 II-1: 双约束磁场周期问题

离子速度分析器截面图如图 7 所示。半径为 R 的空心转筒 P ，可绕过 O 点、垂直 xOy 平面（纸面）的中心轴逆时针匀速转动（角速度大小可调），其上有一小孔 S 。整个转筒内部存在方向垂直纸面向里的匀强磁场，转筒下方有一与其共轴的半圆柱面探测板 Q ，板 Q 与 y 轴交于 A 点。离子源 M 能沿着 x 轴射出质量为 m 、电荷量为 $-q$ ($q > 0$)、速度大小不同的离子，速度大小为 v_0 的离子经磁场偏转后能击中 A 点。落在接地的筒壁或探测板上的离子被吸收且失去所带电荷，不计离子的重力和离子间的相互作用。则

A. 磁感应强度的大小 $B = \frac{mv_0}{qR}$



B. 转筒的转动的角速度一定为 $\frac{v_0}{R}$

- C. 若某离子能击中 C 点， $\angle SOC = 60^\circ$ ，该离子在磁场中的运动时

间为 $\frac{2\pi R}{3v_0}$

- D. 若转筒 P 的角速度 $\omega' = \frac{9v_0}{R}$ ，则探测板 Q 上能探测到离子的点有 5 个

- 正解：ACD

- 总结：最后一个选项不算难，要考虑到出射时的双约束，即时间约束，与几何约束。假设 OSM (M 为出射点) 构成的角为 θ ，时间被约束为 $\frac{\pi - 2\theta + 2n\pi}{\omega'}$ ，几何被约束为 $r = R \tan \theta$ ，再列出射时满足的路径或者弧度（粒子转过弧度为 2θ ）等式，且 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ ，得到 $0 \leq \theta = \frac{(2n+1)\pi}{20} \leq \frac{\pi}{2} \Rightarrow 0 \leq n \leq 4.5$ ， n 为整数时仅有 5 个

3.5.4 III-1: 热力学漏气实验题

(9分) 用如图9所示的实验装置探究“一定质量的气体发生等温变化时压强与体积的关系”。将注射器活塞移动到体积最大的位置，接上软管和压强传感器，推动活塞压缩气体，分别记录注射器上的体积刻度 V 和传感器的示数 p 作为气体的体积和压强。

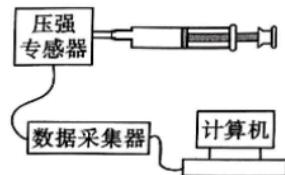
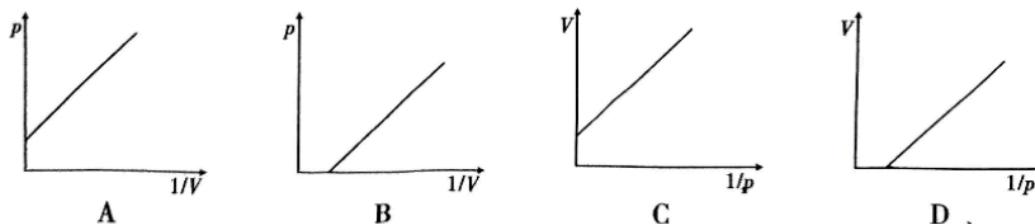


图9

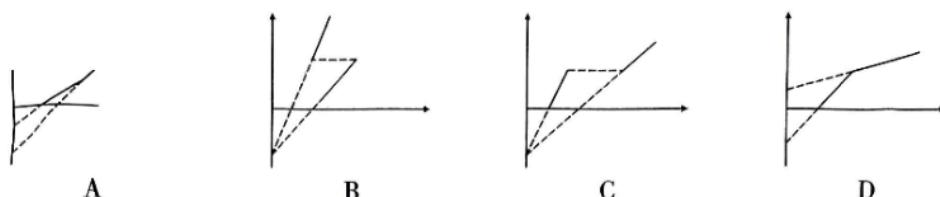
(1) 为保证注射器内封闭气体的温度不发生明显变化，以下说法正确的是（ ）

- A. 要尽可能保持环境温度不变
- B. 实验过程中应缓慢地推动活塞
- C. 实验过程中要用手握紧注射器并快速推拉活塞

(2) 经过多次测量，将所测数据绘制在坐标图上，可能得到的是（ ）



(3) 某同学在一次实验过程中，移动活塞并记录前4组数据后，不小心让软管从注射器脱落，把软管重新连接后继续移动活塞并记录后续4组数据，其他操作无误。下列四个图像的横、纵坐标与(2)问中所选图像相同（横、纵坐标未标出），则其中正确的是（ ）



(4) 用此装置测量大米的体积，将一定量的大米倒入注射器（大米未进入软管），重新进行上述操作，画出(2)中所选图像，测得图像的斜率为 k_2 ，纵截距为 a_2 ，且原(2)问中图像斜率为 k_1 ，纵截距为 a_1 ，则大米体积 $V_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

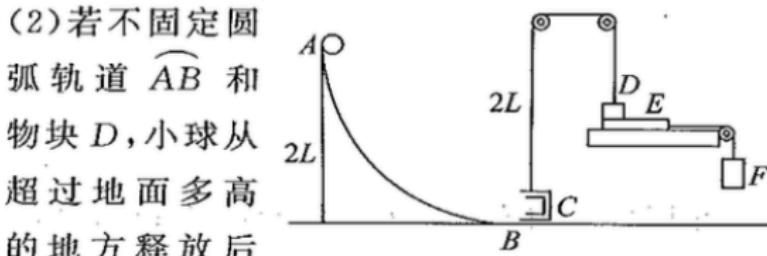
- 正解: (1) AB (2) D (3) B (4) $a_2 - a_1$
- 总结:
 - (1) 跳过
 - (2) 活塞最前方有一段无法被排出测量的体积 V_0 , P, V 都是实际的测量值
因此满足的物态方程应该在体积项加上 V_0 .
 P 的测量是准确的. $P(V + V_0) = C \Rightarrow V = \frac{C}{P} - V_0$
 - (3) 漏气后 C 减少 (物质的量减少了), 因此斜率下降, 截距不变
 - (4) 添加大米后新方程满足 $P(V + V_0 - V_{\text{米}}) = C$, 仅发生了截距的变化

3.6 yh 五月大区考

3.6.1 IV-1: 重叠体的静摩擦力判断

14. (12分) 如图所示, \widehat{AB} 是半径为 $2L$ 、质量为 $3m$ 的光滑四分之一圆弧轨道, 放在光滑水平地面上, B 处切线水平; 将一质量为 m 的小球(可视为质点)从圆弧轨道顶端 A 处由静止释放, 小球水平进入小盒 C 时刚好能被卡住(作用时间很短可不计). 已知小盒 C 静止时刚好和地面不接触, 质量为 m , 上端绳长为 $2L$, 物块 D (可视为质点)质量为 $2.5m$, 木板 E 质量为 m , 木板 E 与 D 和水平桌面间动摩擦因数都为 0.8 , 质量为 m 的物体 F 通过桌子右边缘的光滑定滑轮用轻绳与木板 E 相连, 木板 E 与定滑轮间轻绳水平, 不计空气阻力, 不计绳子与滑轮间摩擦, 重力加速度为 g , 求:

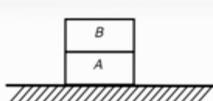
- (1) 若固定圆弧轨道 \widehat{AB} 和物块 D , 小球从 A 静止释放, 与小盒 C 相撞后能上升的最大高度(桌面不会挡住摆动的绳子);
- (2) 若不固定圆弧轨道 \widehat{AB} 和物块 D , 小球从超过地面多高的地方释放后能使 E 与桌面之间出现滑动.



- 正解: (1) $\frac{1}{2}L$ (2) $\frac{2}{3}L$
- 总结: 第二问, 物块 E 的上下表面均有摩擦面, 事实上水平拉力作用在 E 上, 因此摩擦力传下不传上 D 与 E 之间不存在静摩擦力, 如果存在则物块 D 水平方向上无其他力使之平衡
- 拓展:

(多选) 如图, 相同物块 A 、 B 静置在粗糙水平面上。现使水平推力向左轻推物块 A 或 B , 物块 A 、 B 均保持静止。下列说法正确的是 ()

A、向左推 A 时, A 与地面存在静摩擦力
B、向左推 A 时, A 与 B 存在静摩擦力
C、向左推 B 时, A 与地面存在静摩擦力
D、向左推 B 时, A 与 B 存在静摩擦力



答案 ACD (实验见素材里的力学文件夹)

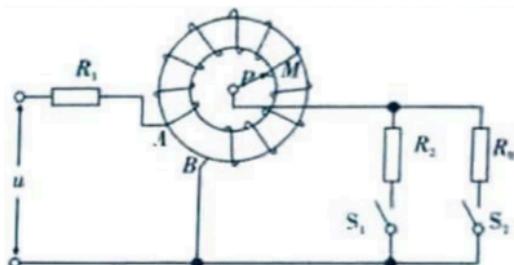
3.7 24 南开高三物理质量检测 (九)

3.7.1 II-1: 变比系数变化的动态分析

10. 如图所示, 一理想自耦变压器线圈 AB 绕在一个圆环形闭合铁芯上, 左端输入正弦交流电压

$u = 120\sqrt{2} \sin 100\pi t$ (V), R_0 、 R_1 和 R_2 为定值电阻、阻值均为 20Ω , 当滑片 P 处于位置 M 时, AB 端与

PB 端匝数比为 $2:1$, S_1 、 S_2 闭合时, R_1 和 R_2 功率相等。下列说法正确的是 ()



- A. 流过 R_1 的电流方向每秒改变 50 次
- B. 滑片 P 处于位置 M 时, 流过 R_2 的电流为 $2A$
- C. S_1 、 S_2 均闭合后, 将 P 沿顺时针方向转动, R_1 消耗的功率一定变大
- D. 断开 S_1 , 闭合 S_2 , 将 P 沿逆时针方向转动, R_0 消耗的电功率一定变大

• 正解: BD

• 总结:

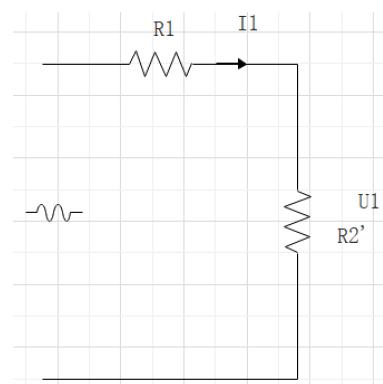
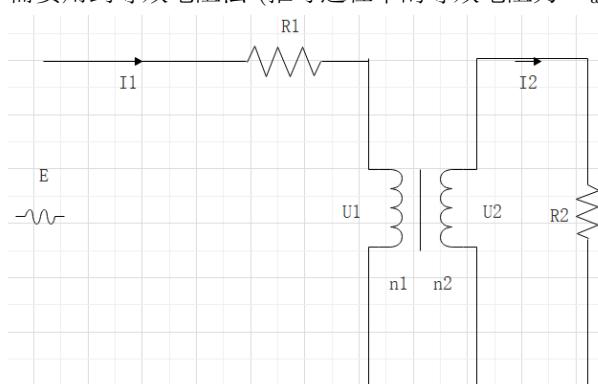
- (1) 对于交流电而言, 频率代表每秒包含的周期个数为 f

在一个周期内电流从 $+ \rightarrow - \rightarrow +$, 发生了两次电流的转向, 因此 $50HZ$ 的频率每秒改变 100 次方向

- (2) 三个电阻的电阻值一样大, 且功率一致, 则每个电阻的分压都是 U_0 , 满足 $\frac{u-U_0}{U_0} = \frac{2}{1}$

$$U_0 = 4v \implies I_2 = \frac{U_0}{R_2} = 2A$$

- (3) 需要用到等效电阻法 (推导过程中的等效电阻为 R_w)



$$R_w = \frac{U_1}{I_1}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = k \text{ (变比系数)} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{k}$$

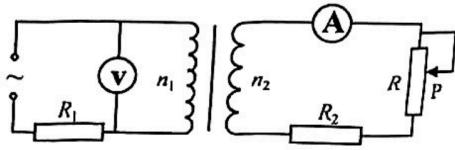
$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} \implies R_w = k^2 R_2$$

此处 R_w 的分压为原线圈的输出电压, 若要计算副线圈电路, 需要在使用变比系数计算副线圈电压

此题中右侧的总电阻为 10Ω , 所以 $R_w = (\frac{2}{1})^2 \times 10 = 40\Omega$

顺时针移动 $P \implies$ 增大 k, R_w 增大, I_1 电流减小因此 R_1 的功率下降

- (4) 断开 S_1 后, $R_w = 4 \times 20 = 80\Omega$, 逆时针转动 P , k 减小, R_w 减小
干路总电流增大, R_w 的功率增大 $\Leftrightarrow R_0$ 的功率增大
- 拓展: CD (使用等效电阻法计算此题)
- 如图所示, 交流电源电动势有效值恒定, 内阻不计, 原线圈回路中有定值电阻 $R_1=6R_0$, 副线圈回路中定值电阻 R_2 和滑动变阻器 R 串联, $R_2=R_0$, 滑动变阻器的最大阻值为 R_0 , 原、副线圈的匝数比为 $2:1$, 电压表和电流表均为理想交流电表, 导线电阻不计。在滑动变阻器滑片 P 从最上端缓慢向下滑动至最下端的过程中, 则
- 电压表和电流表的示数均逐渐变大
 - 副线圈的输出电压不变
 - R_1 两端电压与 R_2 两端电压之比始终为 $3:1$
 - 整个电路中消耗的总功率在增大



题 8 图

3.8 2024 八中高考适应性月考 (三)

3.8.1 II-1: $\varphi - \theta$ 匀强电场计算

9. 空间存在一平行于纸面的匀强电场, 在电场内取某点记为坐标原点 O , 沿某一方向建立 x 轴, 选取 x 轴上到 O 点距离为 r 的 P 点, 以 O 为圆心、 r 为半径作圆, 如图 8 甲所示 (图中 a 、 b … h 各点等分圆周)。从 P 点起沿圆周逆时针方向移动一周, 圆上各点的电势 φ 会随转过角度 θ 发生变化。当半径 r 分别取 r_0 、 $2r_0$ 、 $3r_0$ 时, 其 $\varphi-\theta$ 图像如图乙所示, 三条曲线所对应的电势均在 $\theta_0=\frac{\pi}{6}$ 时达到最大值, 最大值分别为 $2\varphi_0$ 、 $\frac{3}{2}\varphi_0$ 、 φ_0 , 曲线③与横轴相切。则下列说法正确的是

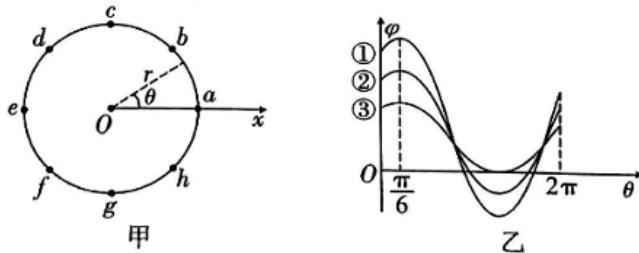


图 8

- A. 曲线①对应的 r 取值为 $3r_0$
- B. 坐标原点 O 的电势为 $3\varphi_0$
- C. 电场强度大小为 $\frac{\varphi_0}{r_0}$, 方向与 x 轴成 $\frac{\pi}{6}$ 斜向右上方
- D. 从 e 到 f , 电势先降低后升高, 从 h 到 a , 电势一直升高

• 正解: AD

- 总结: 三条曲线均在 $\theta_0 = \frac{\pi}{6}$ 时电势达到最大值, 说明电场线是沿着与 x 轴正方向的夹角 θ_0 的直线上, 且电场线方向指向左下方, 曲线 1 的最大值在三条图像中最大, 只有半径越大, P 点绕原点逆时针转过 θ_0 时, 逆着电场线走过的距离才越大, 对应的电势才越高, 所以曲线 1 对应的 r 取值为 $3r_0$. 由上面分析知曲线 3 对应的取值为 r_0 . 由题知, 曲线 3 对应的最高电势和最低电势分别为 $\varphi_0, 0$ (再转动 π), 则坐标原点在最高电势点和最低电势点连线的中点, 所以坐标原点的电势为 $\frac{\varphi_0}{2}$, 由场强方向可知 e 到 f , 电势先降低再升高.

3.8.2 II-2: 速度反向判断

如图 9 所示, 一质量为 m 、长为 L , 上表面光滑的木板 A 静止在光滑水平面上, 其左端固定一劲度系数为 k 的水平轻质弹簧, 弹簧原长为 l_0 , 右侧用一不可伸长的轻质细绳连接于竖直墙上。现使一质量为 $2m$ 、可视为质点的物块 B 以初速度 v_0 从木板的最右端向左滑动, 而后压缩弹簧 (弹簧始终在弹性限度内)。当弹簧的弹性势能最大时, 细绳恰好被拉断, 之后 A 可在桌面上滑动。已知弹簧弹性势能的表达式 $E_p = \frac{1}{2}kx^2$, 其中 k 为劲度系数, x 为弹簧的形变量。则

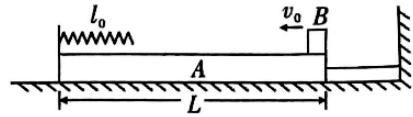


图 9

- A. 弹性势能的最大值为 $E_p = \frac{1}{2}mv_0^2$
- B. 细绳所能承受的最大拉力 $F_m = v_0\sqrt{2mk}$
- C. 小物块 B 滑离木板 A 时, 物块 B 的对地位移 $s_B = \frac{1}{3}\left(L - l_0 + \sqrt{\frac{2mv_0^2}{k}}\right)$
- D. 若把 B 换成质量为 $2.5m$ 的物块, 其他条件不变, 则物块在运动过程中速度方向不发生变化

• 正解: BC

• 总结: D 选项的判断并不复杂, 变换质量后断开时的速度 $\frac{\sqrt{5}}{5}v_0$

此后动量守恒能量守恒来计算, 计算量比较大 $v = \frac{\sqrt{5}v_0 \pm 2\sqrt{3}v_0}{7}$

存在负解, 因此方向会发生变化, 另一种方法是假设物体停下来时的质量 $3m$, 与题干质量进行比较更大的质量更不易速度方向反向, 因此

3.8.3 IV-1: 金属球碰撞的电荷守恒

(18 分) 如图 14 所示平面直角坐标系, 在 $y > \frac{H}{2}$ 的区域内存在沿 y 轴负方向, 大小为 E 的匀强电场,

在 $0 < y < \frac{H}{2}$ 的区域内存在沿 x 轴负方向, 大小未知的匀强电场 E_1 , 在 x 轴上有足够长的光滑绝缘挡板。某时刻一比荷为 k 的带正电金属小球 A (可视为质点) 从 $(0, H)$ 处以初速度 $v_0 = \frac{3\sqrt{EHk}}{4}$ 沿 x 轴正方向运动, 与此同时另一与 A 完全相同的不带电金属小球 B 从 x 轴上某点出发, 以一定的初速度 v_1 开始运动, 一段时间后, 两球恰好在两电场分界线处发生弹性正碰, 小球与挡板间的碰撞均为弹性碰撞 (碰撞前后小球垂直挡板方向的速度大小不变, 平行挡板方向的速度大小、方向都不变), 不计重力以及两小球间的库仑力。

(1) 求 v_1 的大小以及 B 出发时的位置 (坐标用 H 表示);

(2) 碰后 A 、 B 分开的瞬间, 在 $y = \frac{H}{2}$ 处放一足够长绝缘光滑挡板, 该挡板在 $x = 0$ 处有一小孔可容纳小球通过。若 B 与 A 在 $x = 0$ 处发生第二次碰撞, 求 E_1 的值 (用 E 表示);

(3) 若 B 与 A 能发生第二次碰撞, 求 E_1 可能的值 (用 E 表示)。

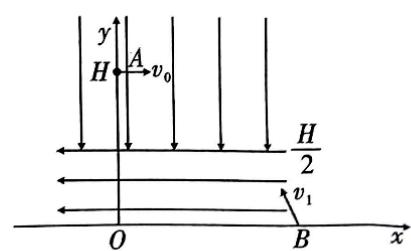


图 14

- 正解:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & v_1 = \frac{5}{8} \sqrt{E k H} \quad (\frac{3}{8} H, 0) \\
 (2) \quad & E_1 = \frac{9}{4} E \\
 (3) \quad & E_1 = \frac{9n+27}{8n+12} \quad (n = 0, 1, 2, \dots)
 \end{aligned}$$

- 总结:

(2) 问的难点在于, 两金属球碰撞后会均分电荷.
(3) 问的难点在于, A 球刚从孔射出时, V_{Bx} 计算得到的大小是个负数 (方向向右)
计算相对速度 (向左为负) 后还要再取一个负号得到一个正值
相遇时间 Δt 内, 两个球的纵坐标一致满足的等式是 $(V_{Bx} + V_{Ax})\Delta t = 2n\frac{H}{2}$
这个关系的列法不应该是 B 球相对于 A 球多走 n 个 $\frac{H}{2}$
 A, B 两球可以对向或者同向相遇, 无论哪种满足的几何关系都是共同走过的路径为偶数倍间距 $\frac{H}{2}$

- 拓展: 该等间距反弹相遇模型可以简化为, 间距 d 的平行板, 同侧发两个相距 Δx 的粒子

两粒子水平速度不变, 同向但大小不同, 不同纵向匀速度

求所有相遇情况满足的关系.

$$\text{相遇时间 } \Delta t = \frac{\Delta x}{v_{1x} - v_{2x}} \quad \text{相遇等式 } (v_{1y} + v_{2y})\Delta t = 2nd$$

3.9 2024 八中高考适应性月考 (二)

3.9.1 III-I: 动量守恒实验水平摩擦力

(9分) 如图10所示,甲为“探究碰撞中的守恒量”的实验装置图,带有U型槽的铝制轨道一端固定在铁架台上,另一端平放在桌面上,连接处为较短的圆弧。外形完全相同的钢柱与铝柱能稳定地在轨道中运行(如图乙所示)。实验步骤如下:

①在倾斜轨道上适当位置标记A点,将钢柱右侧底面与A点对齐,并由静止开始第一次释放,它的右侧底面运动到C处时静止,在水平轨道上标记C点,测量A、C两点间的水平距离 L_1 ;

②拿走钢柱,将铝柱右侧底面与A点对齐,并由静止开始释放,它的右侧底面运动到C'处时静止,在水平

轨道上标记C'点(图中未画出),测量A、C'两点间的水平距离 L_2 ;

③在水平轨道上离斜面底端B足够远的位置标记D点,测量D、C之间的距离 x_0 ;

④将铝柱放在D处,使其_____ (填“左侧”或“右侧”)底面与D点重合;

⑤仍将钢柱从A处由静止第二次释放,使其与铝柱碰撞,测量碰撞后钢柱移动的距离 x_1 、铝柱移动的距离 x_2 ;

⑥测量钢柱的质量 m_1 、铝柱的质量 m_2 。(步骤中物理量有: L_1 、 L_2 、 x_0 、 x_1 、 x_2 、 m_1 、 m_2)

回答以下问题:

(1) 在步骤④中应填_____ (填“左侧”或“右侧”)。

(2) 步骤①中钢柱第一次释放时,如果测量出钢柱滑到水平桌面上重心下降的高度 h ,右侧面到达D点时的速度大小为_____ (用各步骤中物理量、重力加速度 g 和 h 表示)。

(3) 验证该碰撞过程中动量守恒的表达式为_____ (用各步骤中物理量表示)。

(4) 若该碰撞是弹性碰撞,则应满足的表达式为_____ (用步骤中的 L_1 、 L_2 、 x_0 、 x_1 、 x_2 表示)。

- 正解: (1) 左侧 (2) $\sqrt{2gh} \sqrt{\frac{x_0}{L_1}} m_1 \sqrt{\frac{x_0}{L_1}} = m_1 \sqrt{\frac{x_1}{L_1}} + m_2 \sqrt{\frac{x_2}{L_2}}$ (3) $\sqrt{\frac{x_2}{L_2}} = \sqrt{\frac{x_0}{L_1}} + \sqrt{\frac{x_1}{L_1}}$

- 总结: 此类题的方法大都类似,只是这道题为水平匀减速运动.

因此要考虑在斜面上摩擦力做功的几何特点 $mg \cos \theta \mu \Delta L = mg \mu \Delta x$

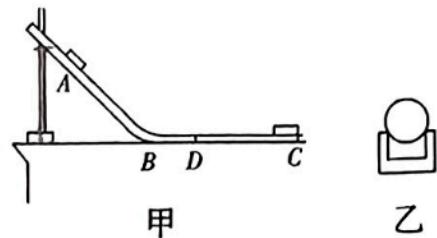
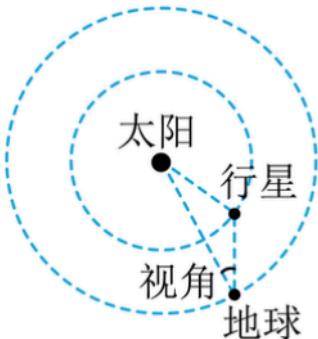


图 10

3.10 2024 巴蜀高考模拟 (十)

3.10.1 I-1: 天体运动观察角问题

7. 如图, 地球和某行星在同一轨道平面内同向绕太阳做顺时针的匀速圆周运动。地球和太阳的连线与地球和行星的连线所夹的角叫地球对该行星的观察视角, 已知该行星的最大观察视角为 θ , 当行星处于最大视角处时, 是地球上天文爱好者观察该行星的最佳时期。则 ()



- A. 行星的环绕半径与地球的环绕半径之比为 $\tan\theta$
 - B. 行星的环绕周期与地球的环绕周期之比为 $\sqrt{\frac{1}{\sin^3\theta}}$
 - C. 行星两次处于最佳观察期的时间间隔至少为 $\frac{\sqrt{\sin^3\theta}}{1-\sqrt{\sin^3\theta}}$ 年
 - D. 行星两次处于最佳观察期的时间间隔可能为 $\frac{(\pi+2\theta)\sqrt{\sin^3\theta}}{2\pi(1-\sqrt{\sin^3\theta})}$ 年
- 正解: D
 - 总结: 通过计算角速度即可, 单位为年时, 需要将计算出的时间除以地球周期
数学关系满足角速度差 $\Delta\omega$ 乘以 $\Delta t = \text{行星多转过的弧度}$
D 选项的另一个结果为分子部分为 $(\pi - 2\theta)\sqrt{\sin^3\theta}$

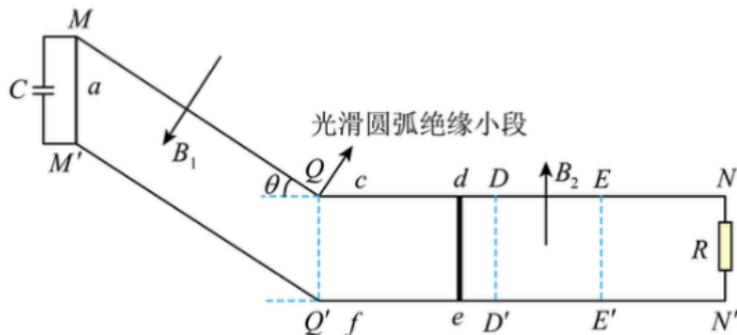
3.10.2 IV-1: 电容电阻动生电动势问题

14. 如图所示, 有两条不计电阻的平行光滑金属导轨 MQN 、 $M'Q'N'$, 导轨间距 $L=0.5\text{m}$, 其中 MQ 、 $M'Q'$ 段倾斜放置, 倾斜角 $\theta=37^\circ$, $MQ=M'Q'=4\text{m}$, QN 、 $Q'N'$ 段水平放置, 两段之间通过一小段(大小可忽略)光滑圆弧绝缘材料平滑相连, 在倾斜导轨左端连接一电容 $C=2\text{F}$ 的电容器, 在 N 和 N' 两端与电阻器, $R=0.1\Omega$ 相连, 在倾斜导轨 MQ 、 $M'Q'$ 区域内加有垂直于倾斜导轨平面向下的匀强磁场 $B_1=2\text{T}$, 在水平导轨的 $DD'E'E$ 区域内加有垂直水平导轨平面向上的匀强磁场 $B_2=0.8\text{T}$, DD' 、 EE' 均与导轨垂直, 且 $DE=D'E'=L=0.5\text{m}$, $cdef$ 是质量为 $3m$ 、各边长度均为 L 的开口向左的 U形金属框, 已知其 de 边电阻为 $R=0.1\Omega$, 其余各段电阻可忽略不计, 开始时紧挨导轨静置于 $DD'E'E$ 左侧外, 一不计电阻的质量为 m 的金属棒 a 紧贴 MM' 从静止释放, 使其向下滑行, 越过 QQ' 后与 U形金属框发生碰撞, 碰后粘在一起形成一个正方形导体框沿导轨穿过磁场 B_2 区域。已知: $m=1\text{kg}$, 不计一切摩擦, 取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$, 求:

(1) 金属棒 a 在倾斜导轨下滑的加速度大小 (提示: $I=\frac{\Delta q}{\Delta t}=\frac{C\Delta U}{\Delta t}$);

(2) de 边刚进入磁场 B_2 区域时的速度大小;

(3) 整个过程中电阻器 R 上产生的焦耳热。



- 正解: (1) $a = 2 \text{ m/s}^2$ (2) $v_2 = 1 \text{ m/s}$ (3) $Q_R = 0.48 \text{ J}$
- 总结: (1) $C = \frac{Q}{U}$ 表达式可以过原点因此 $C = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$, 同时用到其他两个表达式 $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
(3) 问注意两次切割等效电路不同, 第一次切割右侧电阻 R 是被短路的

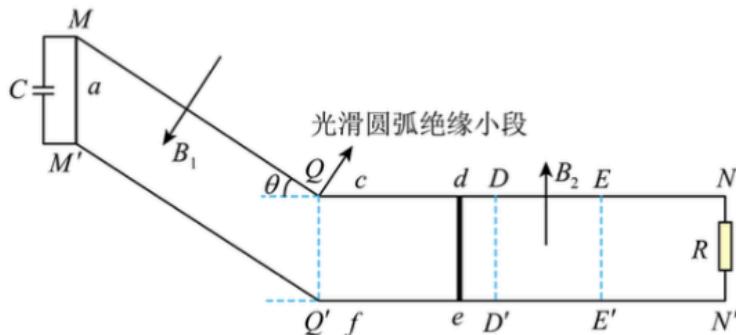
3.10.3 IV-2: 动量守恒与弹簧势能

14. 如图所示, 有两条不计电阻的平行光滑金属导轨 MQN 、 $M'Q'N'$, 导轨间距 $L=0.5\text{m}$, 其中 MQ 、 $M'Q'$ 段倾斜放置, 倾斜角 $\theta=37^\circ$, $MQ=M'Q'=4\text{m}$, QN 、 $Q'N'$ 段水平放置, 两段之间通过一小段(大小可忽略)光滑圆弧绝缘材料平滑相连, 在倾斜导轨左端连接一电容 $C=2\text{F}$ 的电容器, 在 N 和 N' 两端与电阻器, $R=0.1\Omega$ 相连, 在倾斜导轨 MQ 、 $M'Q'$ 区域内加有垂直于倾斜导轨平面向下的匀强磁场 $B_1=2\text{T}$, 在水平导轨的 $DD'E'E$ 区域内加有垂直水平导轨平面向上的匀强磁场 $B_2=0.8\text{T}$, DD' 、 EE' 均与导轨垂直, 且 $DE=D'E'=L=0.5\text{m}$, $cdef$ 是质量为 $3m$ 、各边长度均为 L 的开口向左的 U形金属框, 已知其 de 边电阻为 $R=0.1\Omega$, 其余各段电阻可忽略不计, 开始时紧挨导轨静置于 $DD'E'E$ 左侧外, 一不计电阻的质量为 m 的金属棒 a 紧贴 MM' 从静止释放, 使其向下滑行, 越过 QQ' 后与 U形金属框发生碰撞, 碰后粘在一起形成一个正方形导体框沿导轨穿过磁场 B_2 区域。已知: $m=1\text{kg}$, 不计一切摩擦, 取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$, 求:

(1) 金属棒 a 在倾斜导轨下滑的加速度大小 (提示: $I=\frac{\Delta q}{\Delta t}=\frac{C\Delta U}{\Delta t}$);

(2) de 边刚进入磁场 B_2 区域时的速度大小;

(3) 整个过程中电阻器 R 上产生的焦耳热。



- 正解: (1) 3.6A (2) $V_{3max}=4.5\text{m/s}$ (3) $0.03125J \leq E_p \leq 7.03125J$
- 总结: (1) 问的物理情景比较难以理解, 事实上金属球可作为导体连通两个板因此金属球内有恒定电流 I , 在安培力的作用下驱动.
(3) 碰撞时的动量守恒需要假设 P_4 的未知速度
需要先分析弹簧过程中 P_4 速度的取值范围, $-1\text{m/s} \leq V_x \leq 3\text{m/s}$
3者共速时在列动量守恒的时候用 P_4 初速度定值 3m/s

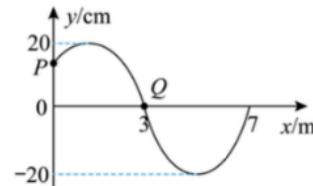
3.11 七校三诊 (攘江中学)

3.11.1 I-1: 机械波的某质点振动方程问题

6. “战绳”是一种近年流行的健身器材，健身者把两根相同绳子的一端固定在一点，用双手分别握住绳子的另一端，上下抖动绳子使绳子振动起来（图甲）。以手的平衡位置为坐标原点，图乙是健身者右手在抖动绳子过程中某时刻的波形，此时波刚好传到 $x=7\text{m}$ 处，若右手抖动的频率是0.5Hz，下列说法正确的是（ ）



图甲



图乙

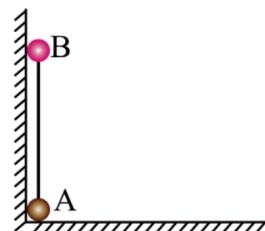
- A. 该时刻 P 点的位移为 $10\sqrt{3}\text{cm}$
- B. 再经过 0.25s , P 点到达平衡位置
- C. 该时刻 Q 点的振动方向沿 y 轴负方向
- D. 从该时刻开始计时, 质点 Q 的振动方程为 $y=20\sin(\pi t+\pi)\text{cm}$

- 正解: B
- 总结: 波的传播方向为 x 轴的正方向, P 点此时向下振动, 再振动 $\frac{1}{8}\lambda$ 回到平衡点
因此等价于 $\frac{1}{8}T=\frac{1}{8}\times 2=0.25\text{s}$.
 D 选项的判断可以带入 $t=0.5\text{s}(\frac{1}{4}T)$, 为负位移, 而根据图像 Q 的位移应该为正因此错误
具体计算方法, 首先位于半个周期的平衡位置 (相位为 π), 而向上振动 (位移为正)
由此可知在圆周运动中角速度方向应该为顺时针, $y=20\sin(-\pi t+\pi)\text{cm}$

3.11.2 I-2: 双球杆连接的运动过程分析

7. 如图所示，两端分别固定有小球A、B（均视为质点）的轻杆竖直立在水平面上并靠在竖直墙面右侧处于静止状态。由于轻微扰动，A球开始沿水平面向右滑动，B球随之下降，在B球即将落地的过程中两球始终在同一竖直平面内。已知轻杆的长度为 l ，两球的质量均为 m ，重力加速度大小为 g ，不计一切摩擦，下列说法正确的是

- A. A球动能最大时对水平面的压力大小等于 $2mg$
- B. 竖直墙面对 B 球的冲量大小为 $\frac{m\sqrt{6gl}}{9}$
- C. 轻杆对 A 球先做正功后做负功
- D. A 球的最大动能为 $\frac{23mgl}{27}$



- 正解: C
- 总结: 拒绝脑内分析 (认为杆与墙壁成 45° 时, A 达到最大速度).
必须求解 v_A 的具体表达式以求解最值
 $v_A^2 = 2gl(\cos^2 \theta - \cos^3 \theta)$ (θ 为 B 与墙面的夹角), 求此函数的最值设 $\cos \theta = x \in [0, 1]$, 求导计算事实上杆 (轻杆) 存在一个内力为 0 的状态, 此时 v_A 的速度达到最大
求墙壁对 B 的冲量等价于求最后小球 A 获得的水平动量 (内部相互作用不影响水平总动量)

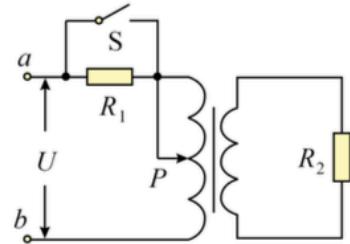
轻杆的力的方向分析仅允许沿杆方向

更细致的讨论, 见教学研究论文文件夹下的「双球轻杆模型.pdf」(强烈推荐)

3.11.3 II-1: 变压器的动态分析

9. 如图所示, 变压器为理想变压器, R_1 、 R_2 为定值电阻, 在 a 、 b 两端接入电压有效值为 U 的正弦交流电, 则下列判断正确的是 ()

- A. S 闭合, P 向下滑, R_2 两端电压变大
- B. S 闭合, P 向下滑, a 、 b 端输入的功率变小
- C. S 断开, P 向下滑, R_1 消耗的功率增大
- D. S 断开, P 向下滑, 变压器输入功率变小



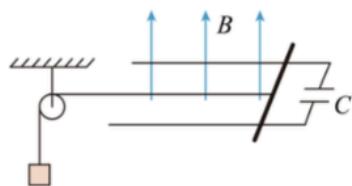
- 正解: AC

- 总结: 整体难度不大, D 选项是无法判断的, 变压器的动态分析偶尔会出一些无法判断的选项

3.11.4 II-2: 存在外力电容式动生电动势

10. 如图所示, 水平面内有两根间距为 d 的光滑平行导轨, 右端接有电容为 C 的电容器。一质量为 m 的导体棒固定于导轨上某处, 轻绳一端连接导体棒, 另一端绕过定滑轮下挂一质量为 M 的物块。由静止释放导体棒, 物块下落从而牵引着导体棒向左运动。空间中存在垂直导轨平面的匀强磁场, 磁场磁感应强度大小为 B , 不计导体棒和导轨的电阻, 忽略绳与定滑轮间的摩擦。若导体棒运动过程中电容器未被击穿, 导体棒始终与导轨接触良好并保持垂直, 重力加速度为 g , 则在物块由静止下落高度为 h 的过程中 ()

- A. 物块做加速度逐渐减小的加速运动
- B. 物块与导体棒组成的系统减少的机械能等于导体棒克服安培力做的功
- C. 轻绳的拉力大小为 $\frac{Mg(m+B^2d^2C)}{M+m+B^2d^2C}$
- D. 电容器增加的电荷量为 $CBd\sqrt{\frac{2Mgh}{M+m+B^2d^2C}}$



- 正解: BCD

- 总结:

(A) 对整体分析 $Mg - BIL = (m + M)g = ma \quad I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{C \Delta U}{\Delta t} = \frac{CBL \Delta v}{\Delta t} = CBL a$

$$a = \frac{Mg}{B^2 L^2 C + (m + M)}$$

(B) 在纯电阻中, 安培力做功大小等于电阻产生的焦耳热, 能量转化角度仅有动能转化为焦耳热.

在此选项中, 仅有安培力做功, 而安培力做功实际是电容的电场能增加.

所以在不考虑导体棒的电阻情况下

能量转化角度就是, 机械能损失变为电容器的电场能, 其大小为克服安培力做功大小

(C) 已经算初加速度, 隔离分析 M 即可 (隔离分析 m 是不可行的)

(D) 此问在电阻类的计算通常是 $q = \bar{I} \Delta t$ (全过程方程)

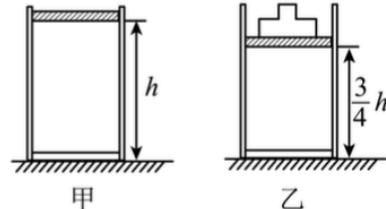
然而显然在此问电流是无法用欧姆定律表示的, 所以使用瞬态方程 $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow I \Delta t = CBd \Delta v$

Δv 通过确定的下降高度和匀加速运动计算

3.11.5 IV-1: 热力学的准静态做功计算

13. 如图甲所示, 导热性能良好的圆柱形汽缸放在水平地面上, 开口向上, 用横截面积为 S 的活塞封闭一定质量的理想气体, 活塞到汽缸底部的距离为 h , 此时环境温度为 T_0 (热力学温度). 已知大气压强恒为 p_0 , 活塞的质量为 $m = \frac{p_0 S}{g}$. 现将一质量也为 m 的重物轻放在活塞上, 同时缓慢升高环境温度, 活塞静止后到汽缸底部的距离为 $\frac{3}{4}h$ (如图乙所示), 该过程气体从外界吸收的热量为 Q . 重力加速度为 g , 不计活塞与汽缸之间的摩擦, 求:

- (i) 最终气体的热力学温度 T
- (ii) 上述过程中气体内能的变化量 ΔU



- 正解: (1) $\frac{9}{8}T_0$ (2) $Q + \frac{3}{4}P_0Sh$
- 总结: 第二问需要将所有的力考虑进去计算准静态的做功. ($P_0S + 2mg$)
热力学第三定律 $Q = \Delta\varepsilon + W$, 其中规定系统对外做功 $W > 0$

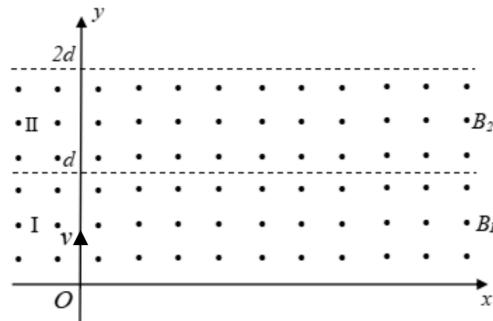
3.11.6 IV-2: 洛伦兹力分量动量定理

15. 如图, 在平面直角坐标系 xOy 的第一、二象限有足够长的条状磁场区域I、II, 宽度均为 d , 区域I和II内有垂直纸面向外的匀强磁场, 磁感应强度大小分别为 B_1 、 B_2 。有一个质量为 m 、带电量为 $+q$ 的粒子, 从坐标原点 O 沿 y 轴正方向以速度 v (未知)射入区域I, 不计粒子重力。

(1) 当 $v=v_1$ 时, 粒子恰可以穿过磁场区域I, 当 $v=v_2$ 时粒子恰可以穿过磁场区域II, 求 v_1 、 v_2 的大小;

(2) 若 $v=\frac{qB_1d}{m}$, 粒子进入磁场后受到了与速度大小成正比、方向相反的阻力, 观察发现该粒子轨迹呈螺旋状(全程在I区域中运动), 并与 x 轴相切于点 P (未画出), 求粒子由 O 点运动到 P 点的时间及 P 点的坐标;

(3) 若区域I磁感应强度大小沿 y 轴满足 $B=ky$ 不均匀分布, 且粒子恰可以穿过磁场区域I, 求 v 的大小。



- 正解: (1) $v_1 = \frac{qdB_1}{m}$ $v_2 = \frac{qd(B_1+B_2)}{m}$ (2) $(d, 0)$ (3) $v = \frac{qkd^2}{2m}$

- 总结:

(1) 不难, 找到相似三角形或者其他几何关系即可

(2) 本质上由题目给的条件知道了竖直方向上的位移 $y=0$

同时由于周期大小仅与磁场与荷质比有关, 运动时间也是已知的为 $\frac{3}{4}T$ (不知道也能做)
在竖直方向上使用动量定理, 并认为力在一个 Δt 内维持不变

$$\begin{aligned}
 m(v_{y_2} - v_{y_1}) &= -(kv_{y_1} + qB_1v_{x_1})\Delta t \\
 m(v_{y_3} - v_{y_2}) &= -(kv_{y_2} + qB_1v_{x_2})\Delta t \\
 &\dots \\
 m(v_{y_n} - v_{y_{n-1}}) &= -(kv_{y_{n-1}} + qB_1v_{x_{n-1}})\Delta t \\
 \sum_{n=2}^{+\infty} m\Delta v_{y_n} &= -mv = -\sum_{n=2}^{+\infty} (kv_{y_{n-1}} + qB_1v_{x_{n-1}})\Delta t \\
 \sum_{n=2}^{+\infty} v_{y_{n-1}}\Delta t &= 0 \quad \sum_{n=2}^{+\infty} v_{x_{n-1}}\Delta t = x \quad \text{这也是不需要运动时间的原因} \\
 mv = qB_1x &\implies x = \frac{mv}{qB_1} = d
 \end{aligned}$$

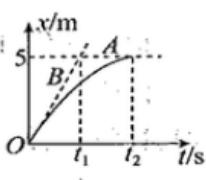
(3) 水平方向上: $\sum_{n=1}^{+\infty} qky_nv_{y_n}\Delta t = mv$

$$v_{y_n}\Delta t = \Delta x \implies qk \sum_{n=1}^{+\infty} y_n \Delta x \text{ 为 } y = kx \text{ 纵坐标为 } d \text{ 时与 } x \text{ 轴围城的面积 } \frac{d^2}{2} \implies v = \frac{qkd^2}{2m}$$

3.12 yh 六月大区考

3.12.1 I-1: 匀变速运动学 ($x-t$)

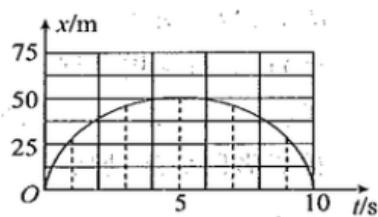
3. 货物运输过程中,一物体沿倾角为 30° 的粗糙斜面从顶端以某初速度沿斜面下滑. 如图所示, 物体运动的位移 x 与时间 t 的关系图像是
一段抛物线. 其中, 水平直线 A 是图像在 $t_2=2\text{ s}$ 时刻的切线, 直线 B 是图像在 0 时刻的切线, 重力加速度 g 取 10 m/s^2 . 下列说法正确的是 ()



- A. 下滑过程中物体做加速度逐渐减小的加速运动, 最后做匀速运动
 - B. t_1 时刻为 1 s
 - C. 物体与斜面间的动摩擦因数为 $\frac{\sqrt{3}}{6}$
 - D. t_2 时刻的瞬时速度为 2.5 m/s
- 正解: B
- 总结: $x = -\frac{1}{2}at^2 + v_0t$ 使用抛物线方程求解即可
灵活运用对称轴求解; 同时注意是减速运动, 受力分析要对

3.12.2 I-2: 匀变速运动学图像结合万有引力

5. 宇航员在某星球将一物体竖直向上抛出, 其运动的 $x-t$ 图像是如图所示的抛物线, 已知该星球的半径是地球半径的 2 倍, 地球表面重力加速度取 10 m/s^2 , 设地球质量为 M , 则该星球的质量为 ()

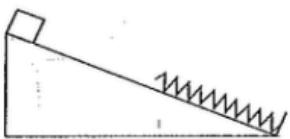


- A. M
 - B. $\frac{8}{5}M$
 - C. $2M$
 - D. $\frac{6}{5}M$
- 正解: B

3.12.3 I-3: 弹簧过程中的图像问题

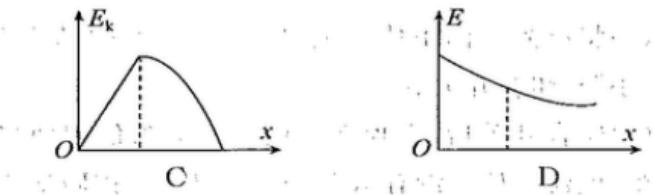
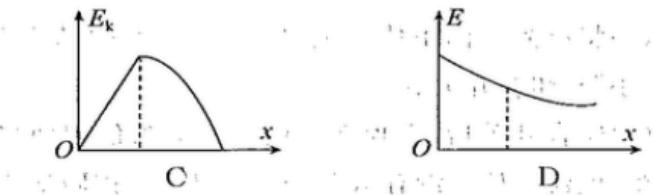
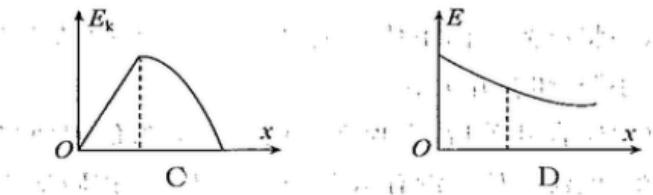
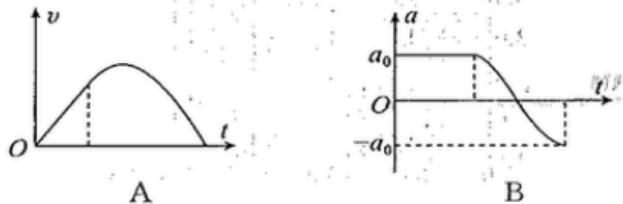
7. 如图所示,一轻质弹簧固定

在斜面底端, $t=0$ 时刻,一
物块从斜面顶端由静止释



放,直至运动到最低点的过程中,物块的速度 v
和加速度 a 随时间 t 、动能 E_k 和机械能 E 随位
移 x 变化的关系图像可能正确的是(弹性势能

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 \quad ()$$



- 正解: A

- 总结: 定性分析

- 未接触弹簧前, 匀加速运动; 接触后 $a \downarrow$ 的加速运动. 之后反向减速 $a \uparrow$ (\checkmark)
- 由于加速度从 $a_0 \rightarrow 0$ 的阶段与 $0 \rightarrow a_0$, 压缩量一样, 但显然前段平均速度更大, 因此时间相对更短

而图像上看, 两段所用时间几乎一样 (\times)

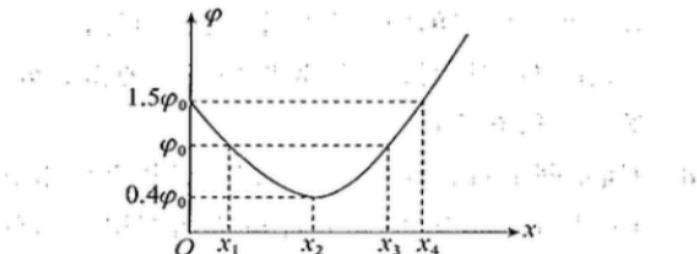
也可以进行更严格的计算 末加速度 $a = \frac{k\Delta x}{m} - a_0$ 能量守恒 $\Delta x = \frac{ma_0 + \sqrt{m^2a_0^2 + 2kma_0x_0}}{k} > \frac{2ma_0}{k}$

- 接触弹簧后速度并不会立刻降低, 仍做加速运动

- $E = E_0 - \frac{1}{2}k(x - x_0) - fx$ (弹簧弹性势能不视为物块的机械能), 是开口向下的抛物线

3.12.4 II-1: 势能图像的运动学问题

10. 在光滑绝缘水平面内有一沿 x 轴的静电场, 其电势 φ 随 x 变化的图像如图所示. 现有一质量为 m 、电荷量为 $-q$ ($q > 0$) 的带电滑块, 从 x_1 处开始以初速度 v_0 向 x 轴正方向运动, 则 ()

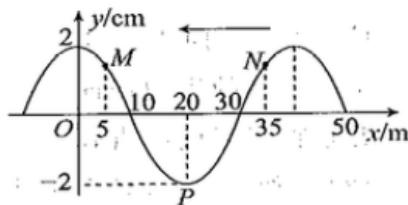


- A. $x_1 \sim x_4$ 之间电场强度先减小后增大
 - B. 滑块向右运动的过程中, 加速度可能一直减小
 - C. 滑块最终可能在 $O \sim x_4$ 区间往复运动
 - D. 若滑块初速度 $v_0 > \sqrt{\frac{q\varphi_0}{m}}$, 则滑块一定能到达 x_4
- 正解: AB
- 总结: 注意物体的起始位置为 x_1 , (2) 仅要求物体不越过 x_2 即可
前段加速度向左, 后段加速度向右, 因此不会往复运动

3.12.5 IV-1: 机械波两质点的运动方向问题

13. (12 分) 一列简谐横波在水平绳上沿 x 轴负方向传播, 在 $t=0$ 时刻的波形如图所示, 绳上三个质点 M 、 N 、 P 的平衡位置分别为 $x_M=5$ m, $x_P=20$ m, $x_N=35$ m, 从该时刻开始计时, P 点的振动位移随时间变化关系为 $y=2\cos(\pi t+\pi)$ cm. 求:

- (1) 该简谐横波的波速 v ;
- (2) 经过多长时间 t , 质点 M 、 N 振动的速度相同?

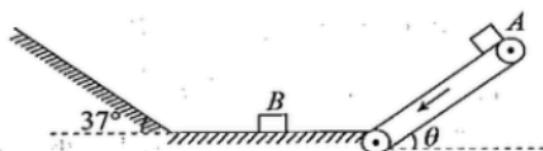


- 正解: (1) 20 m/s (2) $t = (n + 0.5)$ s ($n = 0, 1, 2 \dots$)
- 总结: 第二问需要讨论周期性解. 解的要求需要此两质点距离平衡位置相同
同时需要舍去速度方向不一致的周期性解

3.12.6 IV-2: 碰撞反向通过传送带变向

14. (12分) 如图所示, 长为 $L=5.8\text{ m}$ 的倾斜传送带以 $v_0=4\text{ m/s}$ 的速度逆时针匀速转动, 传送带与水平面夹角为 $\theta=37^\circ$, 传送带底端与光滑水平面平滑连接, 左端有一倾角为 37° 且足够长的粗糙斜面, 斜面与光滑水平面平滑连接. 将 $m=1\text{ kg}$ 的物体 A 轻放在传送带的最上端, 物体 A 滑到水平面上后与质量为 $M=2\text{ kg}$ 的静止物体 B 发生弹性碰撞. 已知物体 A 与传送带之间的动摩擦因数为 $\mu_1=0.5$, 物体 A、物体 B 与斜面之间的动摩擦因数均为 $\mu_2=0.75$, 重力加速度 g 取 10 m/s^2 , $\sin 37^\circ=0.6$, 求:

- (1) 物体 A 滑到传送带底部时速度大小;
- (2) 物体 A 与静止物体 B 发生弹性碰撞后 B 的速度大小;
- (3) 物体 B 在左端斜面上静止的位置到斜面底端的距离.



- 正解: (1) 6 m/s (2) 4 m/s (3) $\frac{2}{3}\text{ m}$
- 总结: 整体不难, 但是第(3)问需要额外考虑
碰撞后反向的物体 A(2 m/s)在重新返回传送带后反向, 是否会在斜面上碰撞 B
A 再次从传送带下来后的速度 (2 m/s), 停在在斜面 ($\frac{1}{6}\text{ m}$)
无法再次与 B 相碰, 因此仅对 B 使用动能定理即可

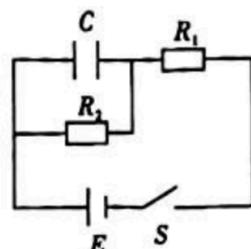
3.13 yh 七月大区考 (2023 南开高三 7)

3.13.1 I-1: 电容在接入电路中状态分析

6. 某同学在研究电容的充放电过程中, 产生了一个新奇的想法: 不管什么电路, 总可以定义一个“等效电阻”, 该“等效电阻”等于电路两端电压与流过该段电路总电流的比值。如图所示电路, 定值电阻 R_1 和 R_2 的阻值均为 6Ω , 初始电容 C 不带电, 在刚闭合开关 S 的瞬间, 按照该同学的定义, 外电路“等效电阻”为

- A. 0Ω B. 3Ω C. 6Ω D. 12Ω

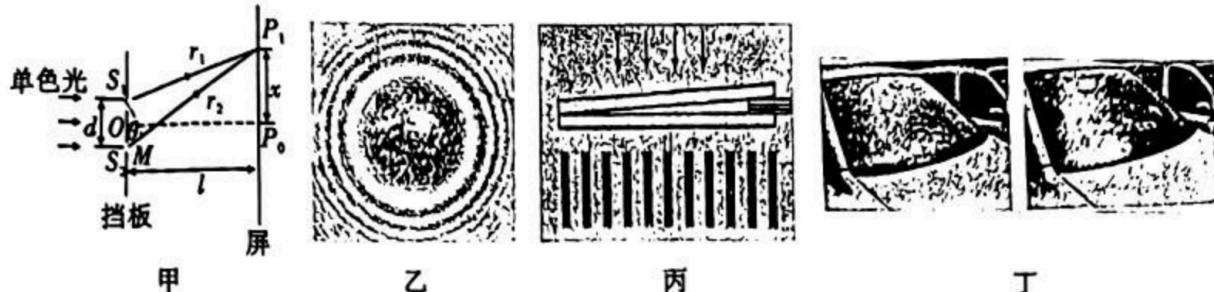
- 正解: C



- 总结: 电容在刚接入电路时, 会有缓慢充电过程, 初始状态视作短路.
充满后可以视为断路. 此问题中初始状态短路 (R_2 被短路), 等效电阻为 $R_1 = 6\Omega$

3.13.2 I-2: 牛顿环, 偏振镜头与增透增反膜

8. 如图所示的甲、乙、丙、丁四幅图均来自物理课本, 下列说法正确的是



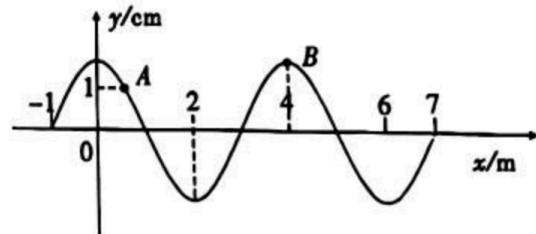
- A. 图甲为双缝干涉示意图, 若换成频率更高的单色光照射双缝, 则实验得到的条纹间距应该更大
- B. 图乙为光照到圆盘上得到的衍射图样
- C. 图丙为劈尖干涉的示意图, 两玻璃片间垫有一些纸片, 若从两玻璃片之间抽出部分纸片, 则从上往下看可以观察到条纹间距变大
- D. 图丁所示为相机拍摄车前挡玻璃的照片, 右图中能明显减弱汽车玻璃表面反射光是利用了薄膜干涉原理

- 正解: C
- 总结: B 选项严格讲是使用的平凸透镜
D 选项: 相机镜头相关的物理应用包括两个方面 (此选项使用了偏振镜头)
增反 or 增透膜: 入射光在薄膜的上表面, 下表面产生反射光, 存在光程差 (干涉)
通过调节干涉情况, 形成增透或增反膜 (入射光能量 = 反射光能量 + 透射光能量)
此类膜如增透膜是为了增加透射光, 让光学系统更好的利用光线
偏振镜头: 自然光是非偏振光, 大量的光线经过散热反射等变成偏振光
为了使得景物在镜头下显示出原本的色彩, 使用偏振镜头滤去杂光 (偏振光), 即滤镜效果

3.13.3 II-2: 简谐振动双图的路程计算

10. 某一沿 x 轴负方向传播的简谐横波在 $t=0$ 时刻的波形图如图所示, 此时刻质点 A 到平衡位置距离为 1 cm , 质点 B 恰运动到波峰处, 若质点 B 从此时刻开始计时的振动方程为 $y=2\sin\left(\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$ (t 的单位为 s , y 的单位为 cm), 则

- A. 该波的传播速度为 2 m/s
- B. 该波的传播速度为 4 m/s
- C. 从 $t=0$ 时刻开始, 质点 A 在 $\Delta t=\frac{5}{3}\text{ s}$ 内通过的路程为 7 cm
- D. 从 $t=0$ 时刻开始, 质点 A 在 $\Delta t=\frac{7}{4}\text{ s}$ 内通过的路程为 7 cm

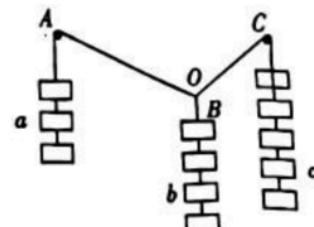


- 正解: AC
- 总结: 波长为 4 m , 周期为 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\text{ s}$, 波速为 $v = \frac{\lambda}{T} = 2\text{ m/s}$
计算路程问题用到结论, $T \iff 4A$
而这个结论的使用要求质点起末位置在平衡或最大位置
因此可以先计算该质点到平衡位置需要的时间为 $\frac{1}{6}\text{ s}$, 剩下 $\frac{3}{2}\text{ s} \iff \frac{3}{4}T$, 回到波峰位置
使用结论, $\frac{3}{4}T \iff 6\text{ cm}$, 所以总路程为 7 cm
画圆法, 旋转方向顺时针, 初相位 $\frac{\pi}{3}, \frac{5}{3}\text{ s} \iff \frac{5}{6}T$, 即 $\frac{5}{3}\pi$
显然转到圆顶, 因此路程为 $1 + 2 + 2 + 2 = 7\text{ cm}$
D 选项转到圆顶向右 15° . 显然不是 7 cm

3.13.4 III-1: 力的合成实验

12. (8分) 同学们利用如图所示的装置来验证力的平行四边形定则。

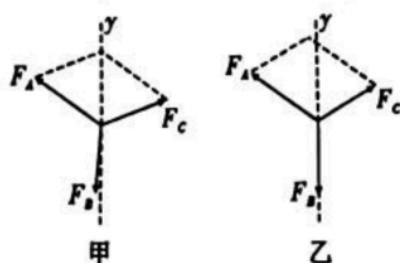
他们首先在竖直放置的木板上铺上白纸，并用图钉固定。然后在木板上等高的A、C两处固定两个光滑的小滑轮。将三根轻绳在O点打结，并挂上适当数量的等重钩码，使系统达到平衡。



(1) 实验中,以下操作必要的是 ()

- A. 记录结点O的位置以及OA、OB、OC绳的方向
- B. 测量OA、OB、OC绳的长度
- C. 测出钩码的质量

(2) 同学们用各绳上钩码的个数来衡量该绳中拉力的大小,完成了本实验,并作图验证力的平行四边形定则,下图中的虚线y为铅垂线方向,则_____ (填“甲”或“乙”)是合理的。



(3) 小南同学进行的某次实验中,系统平衡时,a、c、b三处分别挂了2、3、4个钩码,可知此时绳OA与OC之间的夹角约为 ()

- A. 30°
- B. 60°
- C. 75°

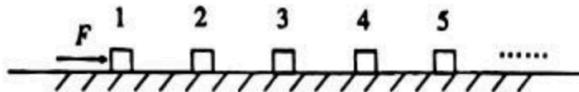
(4) 小开同学进行的某次实验中,系统平衡时,a处有3个钩码,c处有5个钩码,则b处的钩码个数可能是 ()

- A. 3个
- B. 5个
- C. 8个

- 正解: A; 乙; C; B
- 总结: 实验不难. 注意第三问对于余弦定理的使用. 最后一, 旋转 $3F$ 从水平至竖直. 竖直力的取值范围在 $4F - 8F$ (两边不取等)

3.13.5 IV-1: 变质量多次碰撞

15. (18分) 某个物理实验可简化为如图所示的情景:光滑水平地面上,一些大小相同的小物块静止排列在一条直线上,相邻物块间距均为 d ,从左向右物块序号分别为 1、2、3、……。其中1号物块有多种质量规格可供选择,设其质量为 pm (p 为大于 1 的正整数),其余每个物块质量均为 m 。水平向右的恒力 $F = mg$ 从某时刻开始作用于 1 号物块,此后物块运动起来,并依次与后面的物块发生碰撞。所有碰撞均为完全非弹性碰撞,忽略碰撞时间,重力加速度为 g ,小物块视为质点,数量足够多。



- (1) 若 $p=1$,求 1、2 两物块碰撞过程损失的机械能;
- (2) 若 $p=2$,且已知第 i 次碰撞前 1 号物块的动能为 E_{k_i} ,则第 $i+1$ 次碰撞前 1 号物块的动能为多大?
- (3) 若 $p=3$,求运动过程中 1 号物块的最大速度以及从开始运动到 1 号物块达到最大速度所需时间。

- 正解: (1) $\frac{P}{P+1}mgd \iff \frac{1}{2}mgd$ (2) $(\frac{i+1}{i+2})^2 E_{k_i} + \frac{2}{i+2} mgd$ (3) $t = 5\sqrt{\frac{6d}{g}}$

• 总结: 第三问要使用第二问求得的关于 1 号物块动能递推关系, 不过注意这里的 $P=3$ 递推关系要改

$$E_{k(i+1)0} = (\frac{i+2}{i+3})^2 E_{k_i} + \frac{2}{i+3} mgd$$

进而关于它速度的递推关系 $V_{(i+1)0}^2 = (\frac{i+2}{i+3})^2 V_{i0}^2 + \frac{2gd}{i+3}$

可化简为 $(i+3)^2 V_{(i+1)0}^2 = (i+2)^2 V_{i0}^2 + 2gd(i+3)$

可递推计算得到 $(i+3)^2 V_{i0}^2 = 3^2 V_1^2 + gd(i+6)(i-1)$ $Fd = \frac{3}{2}mV_1^2$

$$V_{i0}^2 = gd \frac{i^2+5i}{i^2+4i+4} \implies V_i^2 = gd \left(1 + \frac{1}{(i-4)+\frac{36}{i-4}+12}\right)$$

$i=10$ (第 10 次碰前) 时函数取得最大值 $V_{(10)0} = \frac{5}{2}\sqrt{\frac{1}{6}gd}$

并对整个系统使用动量定理(仅有外力 F , 以及系统末动量已知) $Ft = 12mV_{(10)0} \implies t = 5\sqrt{\frac{6d}{g}}$