

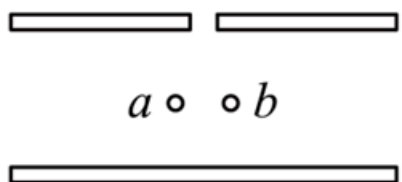
历年（2020-2024）全国高考物理真题与模拟题分类（带电粒子在电场运动）汇编

一、解答题

1. (2023 山西 统考高考真题) 密立根油滴实验的示意图如图所示。两水平金属平板上下放置，间距固定，可从上板中央的小孔向两板间喷入大小不同、带电量不同、密度相同的小油滴。两板间不加电压时，油滴 a、b 在重力和空气阻力的作用下竖直向下匀速运动，速率分别为 v_0 、 $\frac{v_0}{4}$ ；两板间加上电压后（上板为正极），这两个油滴很快达到相同的速率 $\frac{v_0}{2}$ ，均竖直向下匀速运动。油滴可视为球形，所受空气阻力大小与油滴半径、运动速率成正比，比例系数视为常数。不计空气浮力和油滴间的相互作用。

(1) 求油滴 a 和油滴 b 的质量之比；

(2) 判断油滴 a 和油滴 b 所带电荷的正负，并求 a、b 所带电荷量的绝对值之比。

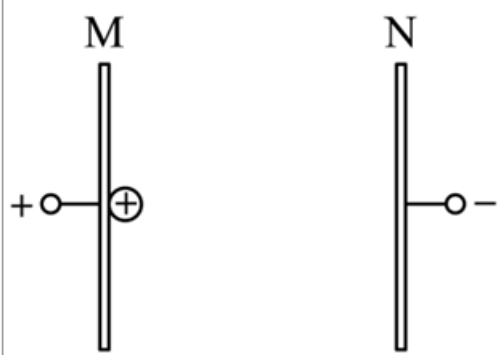


2. (2022 北京 高考真题) 如图所示，真空中平行金属板 M、N 之间距离为 d ，两板所加的电压为 U 。一质量为 m 、电荷量为 q 的带正电粒子从 M 板由静止释放。不计带电粒子的重力。

(1) 求带电粒子所受的静电力的大小 F ；

(2) 求带电粒子到达 N 板时的速度大小 v ；

(3) 若在带电粒子运动 $\frac{d}{2}$ 距离时撤去所加电压，求该粒子从 M 板运动到 N 板经历的时间 t 。



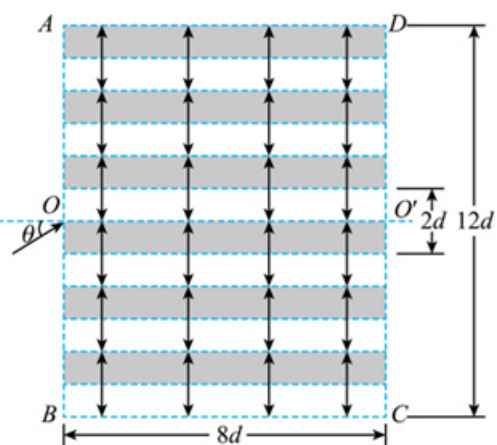
3. (2022 江苏 高考真题) 某装置用电场控制带电粒子运动，工作原理如图所示，矩形 ABCD 区域内存在多层紧邻的匀强电场，每层的高度均为 d ，电场强度大小均为 E ，方向沿竖直方向交替变化，AB 边长为 $12d$ ，BC 边长为 $8d$ ，质量为 m 、电荷量为 q 的粒子流从装置左端中点射入电场，粒子初动能为 E_k ，入射角为 θ ，在纸面内运动，不计重力及粒子间的相互作用力。

(1) 当 $E_k = 0$ 时，若粒子能从 CD 边射出，求该粒子通过电场的时间；

(2) 当 $E_k = 4qEd$ 时，若粒子从 CD 边射出电场时与轴线 OO' 的距离小于 d ，求入射角 θ 的范围；

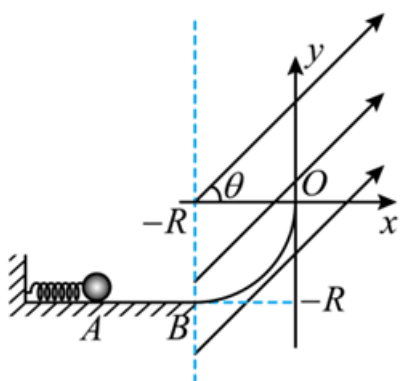
(3) 当 $E_k = \frac{8}{3}qEd$ ，粒子在 $\theta = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2}$ 范围内均匀射入电场，求从 CD 边出射的粒子与入射粒子的数量之比。

比 $N : N_0$ 。



4. (2022 辽宁 高考真题) 如图所示, 光滑水平面 AB 和竖直面内的光滑 $\frac{1}{4}$ 圆弧导轨在 B 点平滑连接, 导轨半径为 R。质量为 m 的带正电小球将轻质弹簧压缩至 A 点后由静止释放, 脱离弹簧后经过 B 点时的速度大小为 \sqrt{gR} , 之后沿轨道 BO 运动。以 O 为坐标原点建立直角坐标系 xOy, 在 $x < R$ 区域有方向与 x 轴夹角为 45° 的匀强电场, 进入电场后小球受到的电场力大小为 $\sqrt{2}mg$ 。小球在运动过程中电荷量保持不变, 重力加速度为 g。求:

- (1) 弹簧压缩至 A 点时的弹性势能;
- (2) 小球经过 O 点时的速度大小;
- (3) 小球过 O 点后运动的轨迹方程。

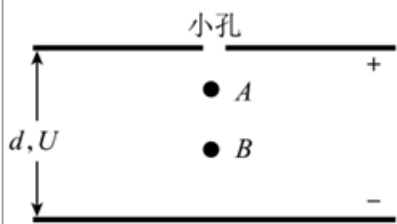


5. (2022 广东 高考真题) 密立根通过观测油滴的运动规律证明了电荷的量子性, 因此获得了 1923 年的诺贝尔奖。图是密立根油滴实验的原理示意图, 两个水平放置、相距为 d 的足够大金属极板, 上极板中央有一小孔。通过小孔喷入一些小油滴, 由于碰撞或摩擦, 部分油滴带上了电荷。有两个质量均为 m_0 、位于同一竖直线上的球形小油滴 A 和 B, 在时间 t 内都匀速下落了距离 h_1 。此时给两极板加上电压 U (上极板接正极), A 继续以原速度下落, B 经过一段时间后向上匀速运动。B 在匀速运动时间 t 内上升了距离 h_2 。随后与 A 合并, 形成一个球形新油滴, 继续在两极板间运动直至匀速。已知球形油滴受到的空气阻力大小为 $f = km^{\frac{1}{3}}v$, 其中 k 为比例系数, m 为油滴质量, v 为油滴运动速率, 不计空气浮力, 重力加速度为 g。求:

- (1) 比例系数 k;

(2) 油滴 A、B 的带电量和电性；B 上升距离 h_2 电势能的变化量；

(3) 新油滴匀速运动速度的大小和方向。

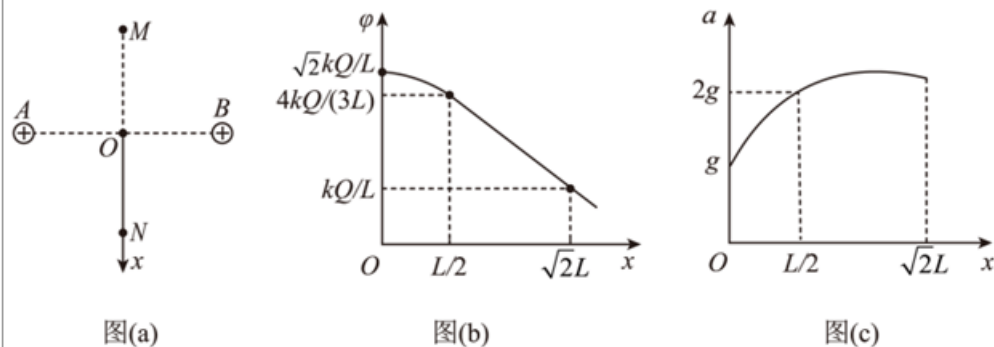


6. (2021 福建 统考高考真题) 如图 (a), 同一竖直平面内 A、B、M、N 四点距 O 点的距离均为 $\sqrt{2}L$, O 为水平连线 AB 的中点, M、N 在 AB 连线的中垂线上。A、B 两点分别固定有一点电荷, 电荷量均为 Q ($Q > 0$)。以 O 为原点, 竖直向下为正方向建立 x 轴。若取无穷远处为电势零点, 则 ON 上的电势 ϕ 随位置 x 的变化关系如图 (b) 所示。一电荷量为 Q ($Q > 0$) 的小球 S_1 以一定初动能从 M 点竖直下落, 一段时间后经过 N 点, 其在 ON 段运动的加速度大小 a 随位置 x 的变化关系如图 (c) 所示。图中 g 为重力加速度大小, k 为静电力常量。

(1) 求小球 S_1 在 M 点所受电场力大小。

(2) 当小球 S_1 运动到 N 点时, 恰与一沿 x 轴负方向运动的不带电绝缘小球 S_2 发生弹性碰撞。已知 S_1 与 S_2 的质量相等, 碰撞前、后 S_1 的动能均为 $\frac{4kQ^2}{3L}$, 碰撞时间极短。求碰撞前 S_2 的动量大小。

(3) 现将 S_2 固定在 N 点, 为保证 S_1 能运动到 N 点与之相碰, S_1 从 M 点下落时的初动能须满足什么条件?

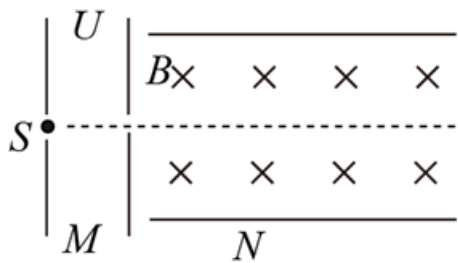


7. (2021 北京 高考真题) 如图所示, M 为粒子加速器; N 为速度选择器, 两平行导体板之间有方向相互垂直的匀强电场和匀强磁场, 磁场的方向垂直纸面向里, 磁感应强度为 B。从 S 点释放一初速度为 0、质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子, 经 M 加速后恰能以速度 v 沿直线 (图中平行于导体板的虚线) 通过 N。不计重力。

(1) 求粒子加速器 M 的加速电压 U;

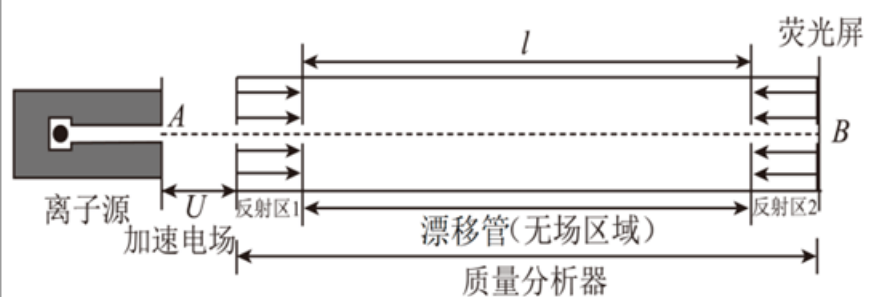
(2) 求速度选择器 N 两板间的电场强度 E 的大小和方向;

(3) 仍从 S 点释放另一初速度为 0、质量为 $2m$ 、电荷量为 q 的带正电粒子, 离开 N 时粒子偏离图中虚线的距离为 d, 求该粒子离开 N 时的动能 E_k 。



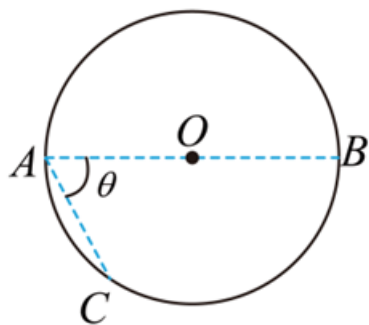
8. (2020 天津 统考高考真题) 多反射飞行时间质谱仪是一种测量离子质量的新型实验仪器，其基本原理如图所示，从离子源 A 处飘出的离子初速度不计，经电压为 U 的匀强电场加速后射入质量分析器。质量分析器由两个反射区和长为 l 的漂移管（无场区域）构成，开始时反射区 1、2 均未加电场，当离子第一次进入漂移管时，两反射区开始加上电场强度大小相等、方向相反的匀强电场，其电场强度足够大，使得进入反射区的离子能够反射回漂移管。离子在质量分析器中经多次往复即将进入反射区 2 时，撤去反射区的电场，离子打在荧光屏 B 上被探测到，可测得离子从 A 到 B 的总飞行时间。设实验所用离子的电荷量均为 q ，不计离子重力。

- (1) 求质量为 m 的离子第一次通过漂移管所用的时间 T_1 ；
- (2) 反射区加上电场，电场强度大小为 E ，求离子能进入反射区的最大距离 x ；
- (3) 已知质量为 m_0 的离子总飞行时间为 t_0 ，待测离子的总飞行时间为 t_1 ，两种离子在质量分析器中反射相同次数，求待测离子质量 m_1 。



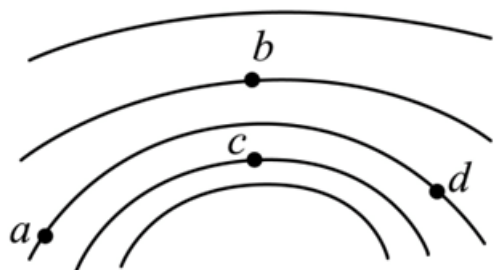
9. (2020 全国 统考高考真题) 在一柱形区域内有匀强电场，柱的横截面积是以 O 为圆心，半径为 R 的圆， AB 为圆的直径，如图所示。质量为 m ，电荷量为 q ($q > 0$) 的带电粒子在纸面内自 A 点先后以不同的速度进入电场，速度方向与电场的方向垂直。已知刚进入电场时速度为零的粒子，自圆周上的 C 点以速率 v_0 穿出电场， AC 与 AB 的夹角 $\theta = 60^\circ$ 。运动中粒子仅受电场力作用。

- (1) 求电场强度的大小；
- (2) 为使粒子穿过电场后的动能增量最大，该粒子进入电场时的速度应为多大？
- (3) 为使粒子穿过电场前后动量变化量的大小为 mv_0 ，该粒子进入电场时的速度应为多大？



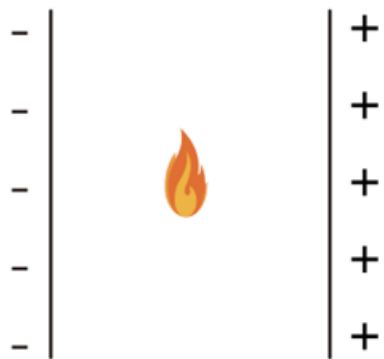
2024 年高考真题专篇

1. (2024 河北卷考题) 2. 我国古人最早发现了尖端放电现象，并将其用于生产生活，如许多古塔的顶端采用“伞状”金属饰物在雷雨天时保护古塔。雷雨中某时刻，一古塔顶端附近等势线分布如图所示，相邻等势线电势差相等，则 a、b、c、d 四点中电场强度最大的是 ()



- A. a 点 B. b 点 C. c 点 D. d 点

2. (2024 年江西卷考题) 1. 极板间一蜡烛火焰带有正离子、电子以及其他的带电粒子，两极板电压保持不变，当电极板距离减小时，电场强度如何变？电子受力方向？ ()

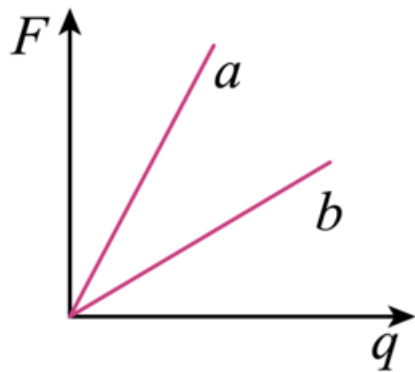


- A. 电场强度增大，方向向左 B. 电场强度增大，方向向右
C. 电场强度减小，方向向左 D. 电场强度减小，方向向右

3. (2024 年湖北卷考题) 8. 关于电荷和静电场，下列说法正确的是 ()

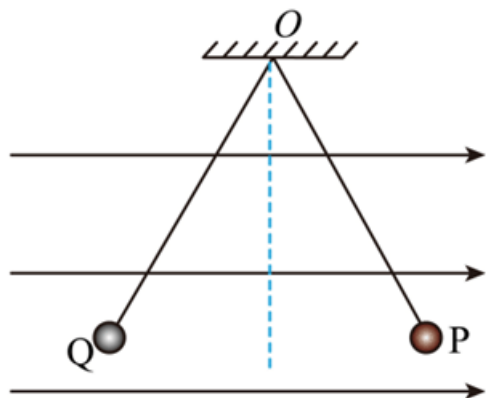
- A. 一个与外界没有电荷交换的系统，电荷的代数和保持不变
B. 电场线与等势面垂直，且由电势低的等势面指向电势高的等势面
C. 点电荷仅在电场力作用下从静止释放，该点电荷的电势能将减小
D. 点电荷仅在电场力作用下从静止释放，将从高电势的地方向低电势的地方运动

4. (2024 年江苏卷考题) 1. 在静电场中有 a、b 两点，试探电荷在两点的静电力 F 与电荷量 q 满足如图所示的关系，请问 a、b 两点的场强大小关系是 ()



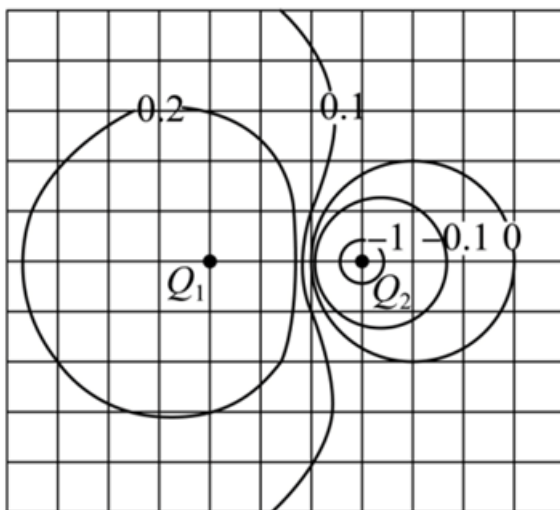
- A. $E_a = E_b$ B. $E_a = 2E_b$ C. $E_a = E_b$ D. $E_a = E_b$

5. (2024 年新课标卷考题) 5. 如图, 两根不可伸长的等长绝缘细绳的上端均系在天花板的 O 点上, 下端分别系有均带正电荷的小球 P、Q; 小球处在某一方向水平向右的匀强电场中, 平衡时两细绳与竖直方向的夹角大小相等。则 ()



- A. 两绳中的张力大小一定相等
- B. P 的质量一定大于 Q 的质量
- C. P 的电荷量一定小于 Q 的电荷量
- D. P 的电荷量一定大于 Q 的电荷量

6. (2024 全国甲卷考题) 5. 在电荷量为 Q 的点电荷产生的电场中, 将无限远处的电势规定为零时, 距离该点电荷 r 处的电势为 $k\frac{Q}{r}$, 其中 k 为静电力常量, 多个点电荷产生的电场中某点的电势, 等于每个点电荷单独存在的该点的电势的代数和。电荷量分别为 Q_1 和 Q_2 的两个点电荷产生的电场的等势线如图中曲线所示 (图中数字的单位是伏特), 则 ()



- A. $Q_1 > 0, \frac{Q_1}{Q_2} = 2$
- B. $Q_1 < 0, \frac{Q_1}{Q_2} = 2$
- C. $Q_1 > 0, \frac{Q_1}{Q_2} = 3$
- D. $Q_1 < 0, \frac{Q_1}{Q_2} = 3$

7. (2024 年辽宁卷考题) 5. 某种不导电溶液的相对介电常数 ϵ_r 与浓度 C_m 的关系曲线如图 (a) 所示, 将平行板电容器的两极板全部插入该溶液中, 并与恒压电源, 电流表等构成如图 (b) 所示的电路, 闭合开关 S 后, 若降低溶液浓度, 则 ()

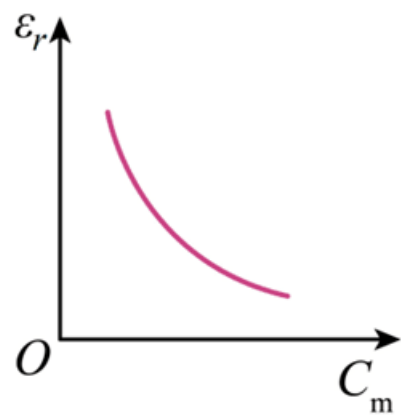


图 (a)

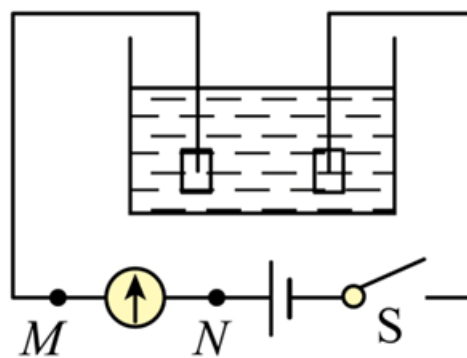
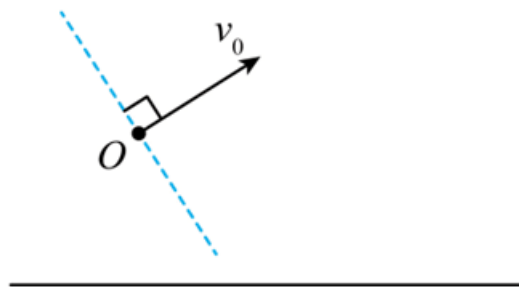


图 (b)

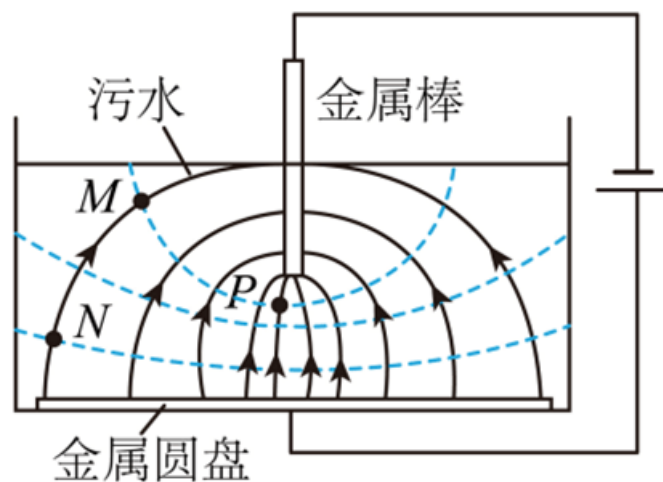
- A. 电容器的电容减小
- B. 电容器所带的电荷量增大
- C. 电容器两极板之间的电势差增大
- D. 溶液浓度降低过程中电流方向为 M→N

8. (2024 年辽宁卷考题) 6. 在水平方向的匀强电场中，一带电小球仅在重力和电场力作用下于竖直面（纸面）内运动。如图，若小球的初速度方向沿虚线，则其运动轨迹为直线，若小球的初速度方向垂直于虚线，则其从 O 点出发运动到 O 点等高处的过程中（ ）



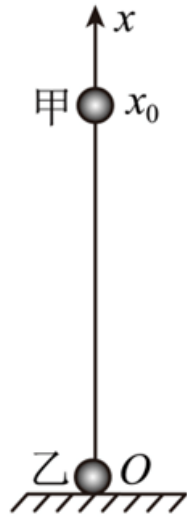
- A. 动能减小，电势能增大
- B. 动能增大，电势能增大
- C. 动能减小，电势能减小
- D. 动能增大，电势能减小

9. (2024 年广东卷考题) 8. 污水中的污泥絮体经处理后带负电，可利用电泳技术对其进行沉淀去污，基本原理如图所示。涂有绝缘层的金属圆盘和金属棒分别接电源正、负极、金属圆盘置于底部、金属棒插入污水中，形成如图所示的电场分布，其中实线为电场线，虚线为等势面。M 点和 N 点在同一电场线上，M 点和 P 点在同一等势面上。下列说法正确的有（ ）



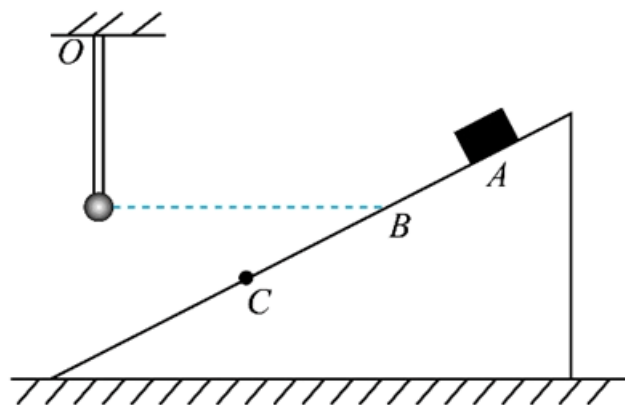
- A. M 点的电势比 N 点的低
- B. N 点的电场强度比 P 点的大
- C. 污泥絮体从 M 点移到 N 点，电场力对其做正功
- D. 污泥絮体在 N 点的电势能比其在 P 点的大

10. (2024年江西卷考题) 10. 如图所示, 垂直于水平桌面固定一根轻质绝缘细直杆, 质量均为 m 、带同种电荷的绝缘小球甲和乙穿过直杆, 两小球均可视为点电荷, 带电荷量分别为 q 和 Q 。在图示的坐标系中, 小球乙静止在坐标原点, 初始时刻小球甲从 $x = x_0$ 处由静止释放, 开始向下运动。甲和乙两点电荷的电势能 $E_p = k \frac{Qq}{r}$ (r 为两点电荷之间的距离, k 为静电力常量)。最大静摩擦力等于滑动摩擦力 f , 重力加速度为 g 。关于小球甲, 下列说法正确的是 ()



- A. 最低点的位置 $x = \frac{kQq}{(mg - f)x_0}$
- B. 速率达到最大值时的位置 $x = \sqrt{\frac{kQq}{mg - f}}$
- C. 最后停留位置 x 的区间是 $\sqrt{\frac{kQq}{mg}} < x < \sqrt{\frac{kQq}{mg - f}}$
- D. 若在最低点能返回, 则初始电势能 $E_{p0} = (mg - f) \sqrt{\frac{kQq}{mg - f}}$

11. (2024年山东卷考题) 10. 如图所示, 带电量为 $+q$ 的小球被绝缘棒固定在 O 点, 右侧有固定在水平面上、倾角为 30° 的光滑绝缘斜面。质量为 m 、带电量为 $+q$ 的小滑块从斜面上 A 点由静止释放, 滑到与小球等高的 B 点时加速度为零, 滑到 C 点时速度为零。已知 AC 间的距离为 S , 重力加速度大小为 g , 静电力常量为 k , 下列说法正确的是 ()



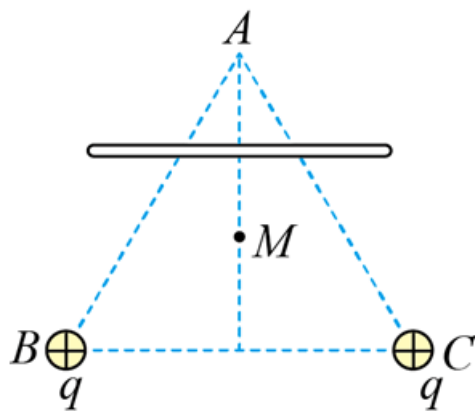
A. OB的距离 $l = \sqrt{\frac{\sqrt{3}kq^2}{mg}}$

B. OB 的距离 $l = \sqrt{\frac{\sqrt{3}kq^2}{3mg}}$

C. 从 A 到 C, 静电力对小滑块做功 $W = -mgS$

D. AC 之间的电势差 $U_{AC} = -\frac{mgS}{2q}$

12. (2024 河北卷考题)7. 如图, 真空中有两个电荷量均为 q ($q > 0$) 的点电荷, 分别固定在正三角形 ABC 的顶点 B、C. M 为三角形 ABC 的中心, 沿 AM 的中垂线对称放置一根与三角形共面的均匀带电细杆, 电荷量为 $\frac{q}{2}$. 已知正三角形 ABC 的边长为 a , M 点的电场强度为 0, 静电力常量的 k . 顶点 A 处的电场强度大小为 ()



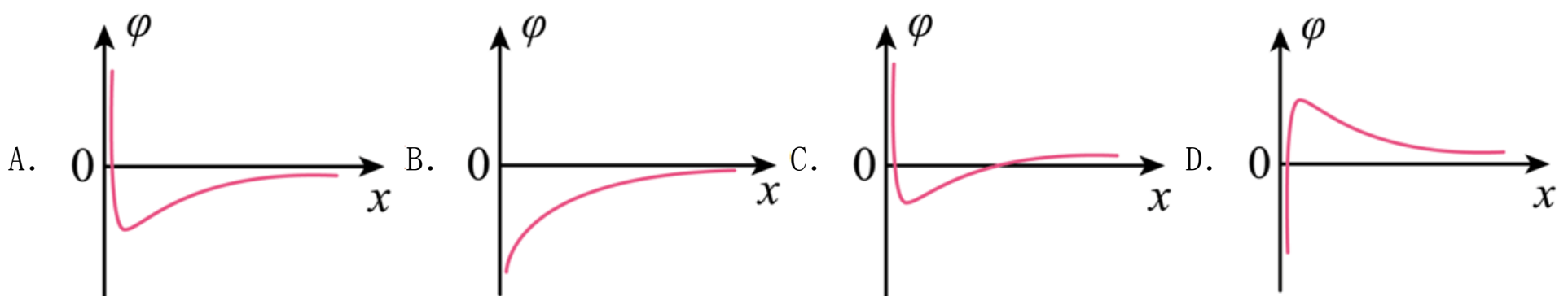
A. $\frac{2\sqrt{3}kq}{a^2}$

B. $\frac{kq}{a^2} (6\sqrt{3})$

C. $\frac{kq}{a^2} (3\sqrt{3} - 1)$

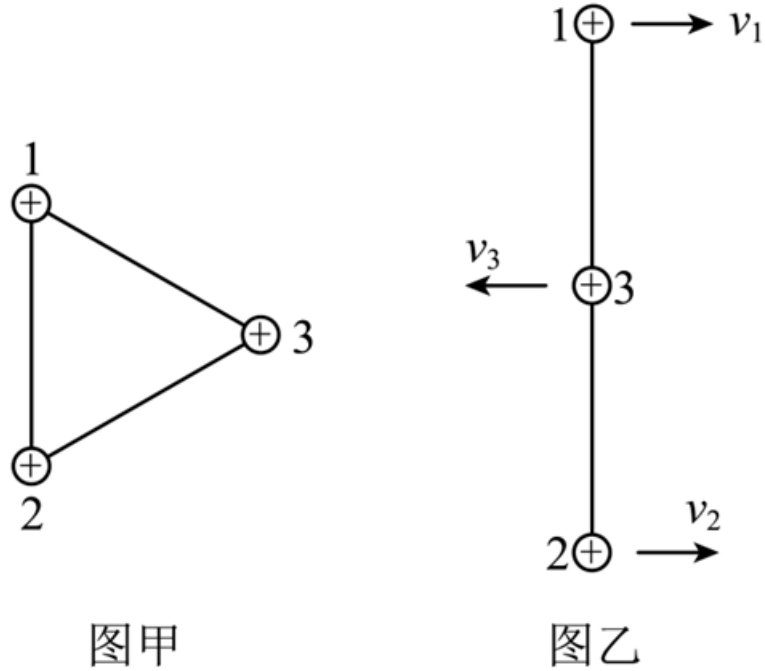
D. $\frac{kq}{a^2} (3\sqrt{3})$

13. (2024 年湖南卷考题)5. 真空中有电荷量为 $4q$ 和 q 的两个点电荷, 分别固定在 x 轴上 -1 和 0 处。设无限远处电势为 0, x 正半轴上各点电势 φ 随 x 变化的图像正确的是 ()



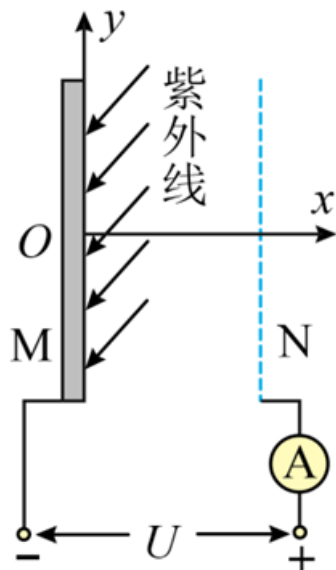
14. (2024 年安徽卷考题)8. 在某装置中的光滑绝缘水平面上, 三个完全相同的带电小球, 通过不可伸长的绝缘轻质细线, 连接成边长为 d 的正三角形, 如图甲所示。小球质量为 m , 带电量为 q , 可视为点电荷。初始时, 小球均静止, 细线拉直。现将球 1 和球 2 间的细线剪断, 当三个小球运动到同一条直线上时, 速度大小分别为 v_1 、 v_2 、 v_3 , 如图乙所示。该过程中三个小球组成的系统电势能减少了 $\frac{kq^2}{2d}$, k 为静

电力常量，不计空气阻力。则 ()



- A. 该过程中小球 3 受到的合力大小始终不变 B. 该过程中系统能量守恒，动量不守恒
- C. 在图乙位置， $v_1 = v_2$ ， $v_3 = 2v_1$ D. 在图乙位置， $v_3 = \sqrt{\frac{2kq^2}{3md}}$

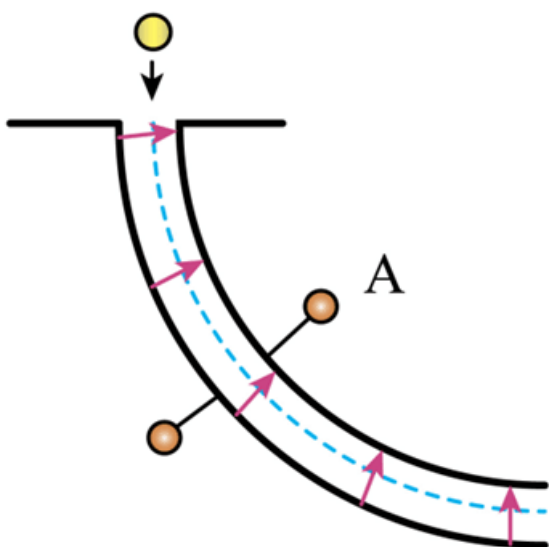
15. (2024 浙江 1 月考题) 11. 如图所示，金属极板 M 受到紫外线照射会逸出光电子，最大速率为 v_m 。正对 M 放置一金属网 N，在 M、N 之间加恒定电压 U 。已知 M、N 间距为 d (远小于板长)，电子的质量为 m ，电荷量为 e ，则 ()



- A. M、N 间距离增大时电子到达 N 的动能也增大
- B. 只有沿 x 方向逸出的电子到达 N 时才有最大动能 $\frac{1}{2}mv_m^2 + eU$
- C. 电子从 M 到 N 过程中 y 方向位移大小最大为 $v_m d \sqrt{\frac{2m}{eU}}$
- D. M、N 间加反向电压 $\frac{mv_m^2}{4e}$ 时电流表示数恰好为零

16. (2024 年上海卷考题) 11. 如图，静电选择器由两块相互绝缘、半径很大的同心圆弧形电极组成。

电极间所加电压为 U 。由于两电极间距 d 很小，可近似认为两电极半径均为 r ，且电极间的电场强度大小处处相等，方向沿径向垂直于电极。



(1) 电极间电场强度大小为_____；

(2) 由 ${}^1_1\text{H}$ 核、 ${}^2_1\text{H}$ 核和 ${}^3_1\text{H}$ 核组成的粒子流从狭缝进入选择器，若不计粒子间相互作用，部分粒子在电场力作用下能沿圆弧路径从选择器出射。

①出射的粒子具有相同的_____；

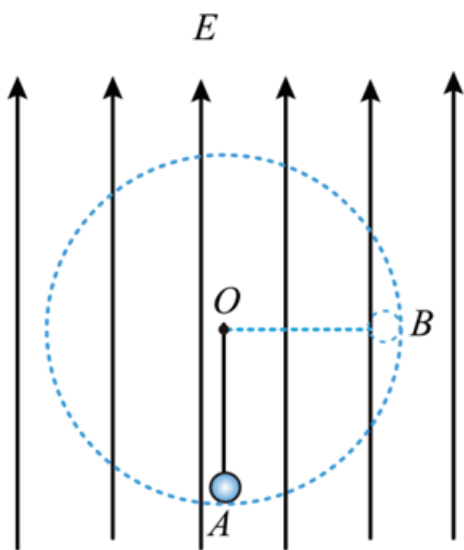
- A. 速度 B. 动能 C. 动量 D. 比荷

②对上述①中的选择做出解释。(论证) _____

17. (2024 年河北高考题) 13. 如图，竖直向上的匀强电场中，用长为 L 的绝缘细线系住一带电小球，在竖直平面内绕 O 点做圆周运动。图中 A 、 B 为圆周上的两点， A 点为最低点， B 点与 O 点等高。当小球运动到 A 点时，细线对小球的拉力恰好为 0 ，已知小球的电荷量为 q 、质量为 m ， A 、 B 两点间的电势差为 U ，重力加速度大小为 g ，求：

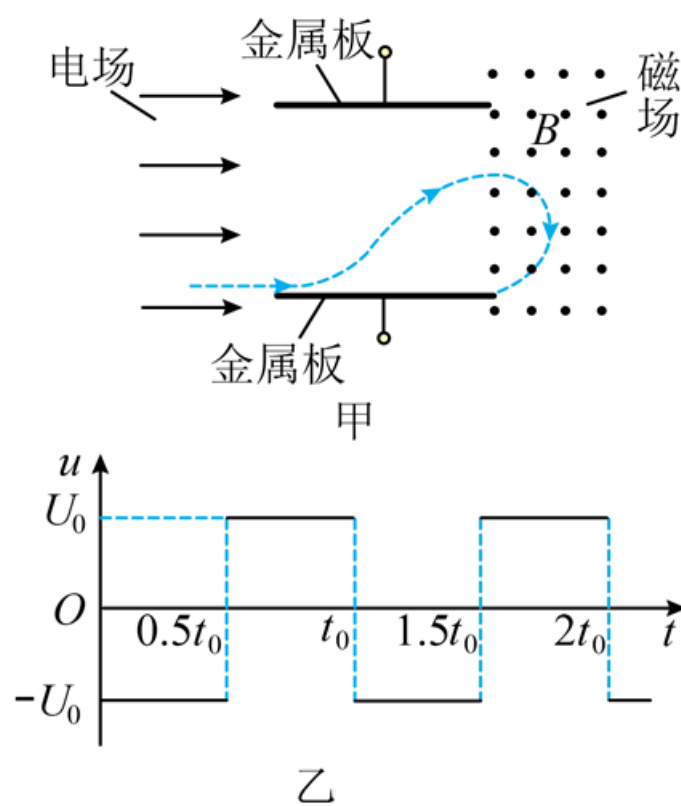
(1) 电场强度 E 的大小。

(2) 小球在 A 、 B 两点的速度大小。



18. (2024 年广东卷考题) 15. 如图甲所示。两块平行正对的金属板水平放置，板间加上如图乙所示幅值为 U_0 、周期为 t_0 的交变电压。金属板左侧存在一水平向右的恒定匀强电场，右侧分布着垂直纸面向外的匀强磁场。磁感应强度大小为 B 。一带电粒子在 $t = 0$ 时刻从左侧电场某处由静止释放，在 $t = t_0$ 时刻从下板左端边缘位置水平向右进入金属板间的电场内，在 $t = 2t_0$ 时刻第一次离开金属板间的电场、水平向右进入磁场，并在 $t = 3t_0$ 时刻从下板右端边缘位置再次水平进入金属板间的电场。已知金属板的板长是板间距离的 $\frac{\pi}{3}$ 倍，粒子质量为 m 。忽略粒子所受的重力和场的边缘效应。

- (1) 判断带电粒子的电性并求其所带的电荷量 q ;
- (2) 求金属板的板间距离 D 和带电粒子在 $t = t_0$ 时刻的速度大小 v ;
- (3) 求从 $t = 0$ 时刻开始到带电粒子最终碰到上金属板的过程中，电场力对粒子做的功 W 。

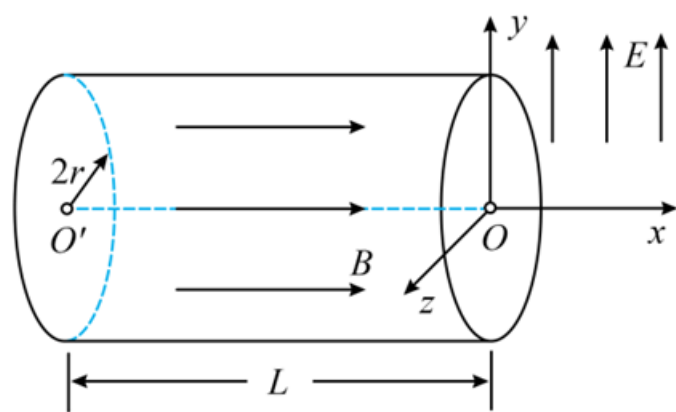


19. (2024年湖南卷考题) 14. 如图, 有一内半径为 $2r$ 、长为 L 的圆筒, 左右端面圆心 O' 、 O 处各开有一小孔。以 O 为坐标原点, 取 $O'O$ 方向为 x 轴正方向建立 xyz 坐标系。在筒内 $x \leq 0$ 区域有一匀强磁场, 磁感应强度大小为 B , 方向沿 x 轴正方向; 筒外 $x \geq 0$ 区域有一匀强电场, 场强大小为 E , 方向沿 y 轴正方向。一电子枪在 O' 处向圆筒内多个方向发射电子, 电子初速度方向均在 xOy 平面内, 且在 x 轴正方向的分速度大小均为 v_0 。已知电子的质量为 m 、电量为 e , 设电子始终未与筒壁碰撞, 不计电子之间的相互作用及电子的重力。

(1) 若所有电子均能经过 O 进入电场, 求磁感应强度 B 的最小值;

(2) 取 (1) 问中最小的磁感应强度 B , 若进入磁场中电子的速度方向与 x 轴正方向最大夹角为 θ , 求 $\tan \theta$ 的绝对值;

(3) 取 (1) 问中最小的磁感应强度 B , 求电子在电场中运动时 y 轴正方向的最大位移。

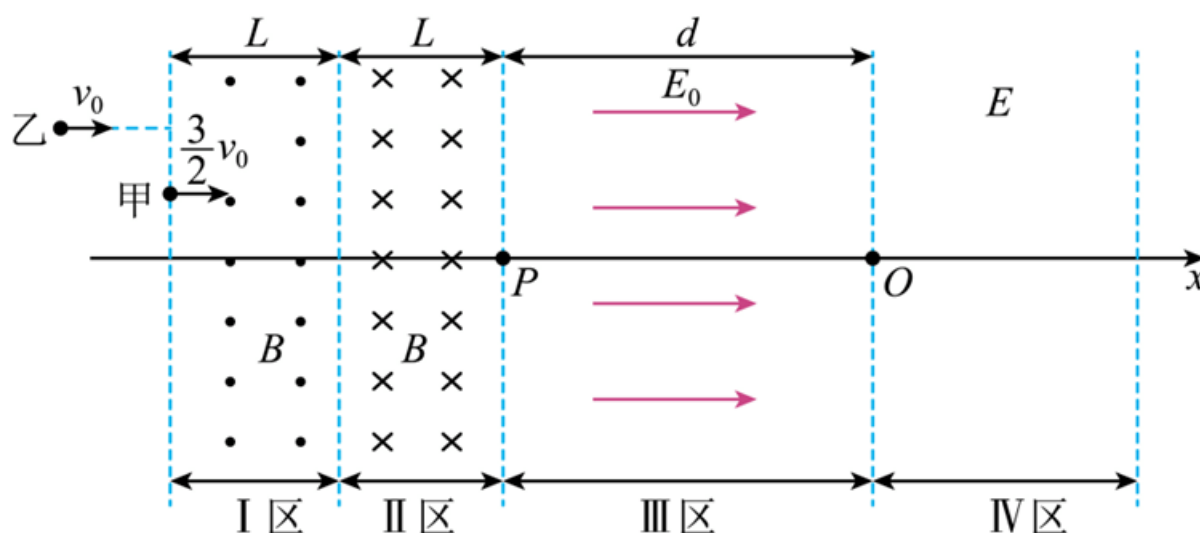


20. (2024 年辽宁卷考题) 15. 现代粒子加速器常用电磁场控制粒子团的运动及尺度。简化模型如图：

I、II区宽度均为 L ，存在垂直于纸面的匀强磁场，磁感应强度等大反向；III、IV区为电场区，IV区电场足够宽，各区边界均垂直于 x 轴， O 为坐标原点。甲、乙为粒子团中的两个电荷量均为 $+q$ ，质量均为 m 的粒子。

如图，甲、乙平行于 x 轴向右运动，先后射入 I 区时速度大小分别为 $\frac{3}{2}v_0$ 和 v_0 。甲到 P 点时，乙刚好射入 I 区。乙经过 I 区的速度偏转角为 30° ，甲到 O 点时，乙恰好到 P 点。已知III区存在沿 $+x$ 方向的匀强电场，电场强度大小 $E_0 = \frac{9mv_0^2}{4\pi qL}$ 。不计粒子重力及粒子间相互作用，忽略边界效应及变化的电场产生的磁场。

(1) 求磁感应强度的大小 B ；
 (2) 求III区宽度 d ；
 (3) IV区 x 轴上的电场方向沿 x 轴，电场强度 E 随时间 t 、位置坐标 x 的变化关系为 $E = t + kx$ ，其中常系数 $k > 0$ ， $t = 0$ 时， $x = 0$ 。已知甲在IV区始终做匀速直线运动，设乙在IV区受到的电场力大小为 F ，甲、乙间距为 Δx ，求乙追上甲前 F 与 Δx 间的关系式（不要求写出 Δx 的取值范围）



21. (2024 浙江 1 月考题) 22. 类似光学中的反射和折射现象，用磁场或电场调控也能实现质子束的“反射”和“折射”。如图所示，在竖直平面内有三个平行区域 I、II 和 III；I 区宽度为 d ，存在磁感应强度大小为 B 、方向垂直平面向外的匀强磁场，II 区的宽度很小。I 区和 III 区电势处处相等，分别为 ϕ_I 和 ϕ_{III} ，其电势差 $U = \phi_I - \phi_{III}$ 。一束质量为 m 、电荷量为 e 的质子从 O 点以入射角 θ_1 射向 I 区，在 P 点以出射角 θ_2 射出，实现“反射”；质子束从 P 点以入射角 θ_3 射入 II 区，经 II 区“折射”进入 III 区，其出射方向与法线夹角为“折射”角。已知质子仅在平面内运动，单位时间发射的质子数为 N ，初速度为 v_0 ，不计质子重力，不考

考虑质子间相互作用以及质子对磁场和电势分布的影响。

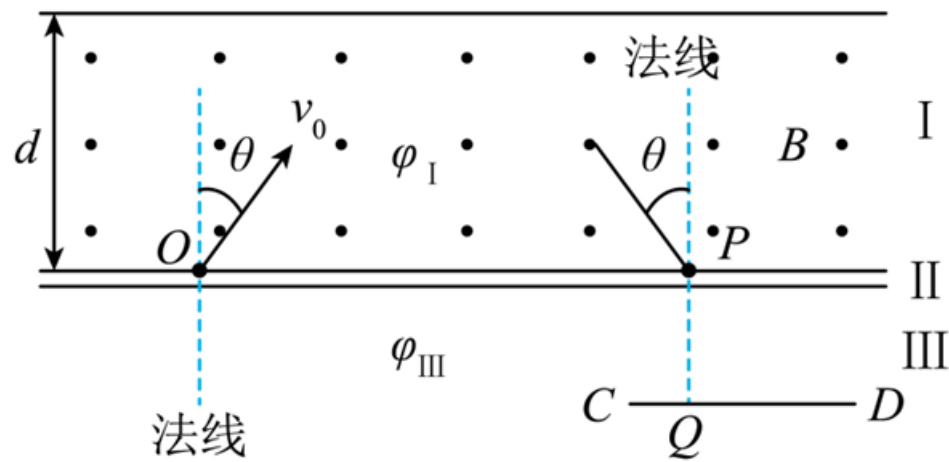
(1) 若不同角度射向磁场的质子都能实现“反射”，求 d 的最小值；

(2) 若 $U = \frac{mv^2}{2e}$ ，求“折射率” n （入射角正弦与折射角正弦的比值）

(3) 计算说明如何调控电场，实现质子束从 P 点进入 II 区发生“全反射”（即质子束全部返回 I 区）

(4) 在 P 点下方距离 $\frac{\sqrt{3}mv}{eB}$ 处水平放置一长为 $\frac{4mv}{eB}$ 的探测板 CQD （ Q 在 P 的正下方）， CQ 长为 $\frac{mv}{eB}$ ，

质子打在探测板上即被吸收中和。若还有另一相同质子束，与原质子束关于法线左右对称，同时从 O 点射入 I 区，且 $\theta = 30^\circ$ ，求探测板受到竖直方向力 F 的大小与 U 之间的关系。



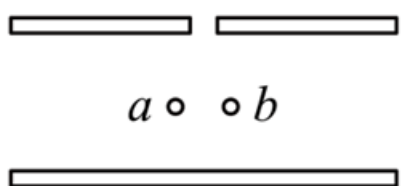
参考答案

一、解答题

1. (2023 山西 统考高考真题) 密立根油滴实验的示意图如图所示。两水平金属平板上下放置，间距固定，可从上板中央的小孔向两板间喷入大小不同、带电量不同、密度相同的小油滴。两板间不加电压时，油滴 a、b 在重力和空气阻力的作用下竖直向下匀速运动，速率分别为 v_0 、 $\frac{v_0}{4}$ ；两板间加上电压后（上板为正极），这两个油滴很快达到相同的速率 $\frac{v_0}{2}$ ，均竖直向下匀速运动。油滴可视为球形，所受空气阻力大小与油滴半径、运动速率成正比，比例系数视为常数。不计空气浮力和油滴间的相互作用。

(1) 求油滴 a 和油滴 b 的质量之比；

(2) 判断油滴 a 和油滴 b 所带电荷的正负，并求 a、b 所带电荷量的绝对值之比。



【答案】 (1) 8:1; (2) 油滴 a 带负电，油滴 b 带正电；4:1

【答案解析】 (1) 设油滴半径 r ，密度为 ρ 则油滴质量

$$m = \frac{4}{3} \rho r^3$$

则速率为 v 时受阻力

$$f = krv$$

则当油滴匀速下落时

$$mg = f$$

解得

$$r = \sqrt{\frac{3kv}{4g}} = \sqrt{v}$$

可知

$$\frac{r_a}{r_b} = \sqrt{\frac{v_0}{\frac{1}{4}v_0}} = 2$$

则

$$\frac{m_a}{m_b} = \frac{r_a^3}{r_b^3} = \frac{8}{1}$$

(2) 两板间加上电压后（上板为正极），这两个油滴很快达到相同的速率 $\frac{v_0}{2}$ ，可知油滴 a 做减速运动，油滴 b 做加速运动，可知油滴 a 带负电，油滴 b 带正电；当再次匀速下落时，对 a 由受力平衡可得

$$|q_a|E = f_a = m_a g$$

其中

$$f_a = \frac{v_0}{2} m_a g = \frac{1}{2} m_a g$$

对 b 由受力平衡可得

$$f_b = q_b E = m_b g$$

其中

$$f_b = \frac{1}{4} m_b g = 2m_b g$$

联立解得

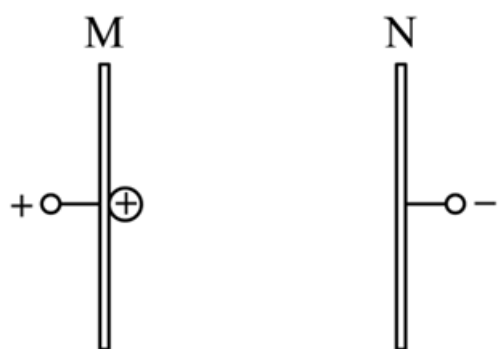
$$\left| \frac{q_a}{q_b} \right| = \frac{m_a}{2m_b} = \frac{4}{1}$$

2. (2022 北京 高考真题) 如图所示，真空中平行金属板 M、N 之间距离为 d，两板所加的电压为 U。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子从 M 板由静止释放。不计带电粒子的重力。

(1) 求带电粒子所受的静电力的大小 F；

(2) 求带电粒子到达 N 板时的速度大小 v；

(3) 若在带电粒子运动 $\frac{d}{2}$ 距离时撤去所加电压，求该粒子从 M 板运动到 N 板经历的时间 t。



【答案】(1) $F = q \frac{U}{d}$ ；(2) $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$ ；(3) $t = \frac{3d}{2} \sqrt{\frac{m}{qU}}$

【答案解析】(1) 两极板间的场强

$$E = \frac{U}{d}$$

带电粒子所受的静电力

$$F = qE = q \frac{U}{d}$$

(2) 带电粒子从静止开始运动到 N 板的过程，根据功能关系有

$$qU = \frac{1}{2}mv^2$$

解得

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

(3) 设带电粒子运动 $\frac{d}{2}$ 距离时的速度大小为 v' ，根据功能关系有

$$q \frac{U}{2} = \frac{1}{2}mv'^2$$

带电粒子在前 $\frac{d}{2}$ 距离做匀加速直线运动，后 $\frac{d}{2}$ 距离做匀速运动，设用时分别为 t_1 、 t_2 ，有

$$\frac{d}{2} = \frac{v'}{2}t_1, \quad \frac{d}{2} = v't_2$$

则该粒子从 M 板运动到 N 板经历的时间

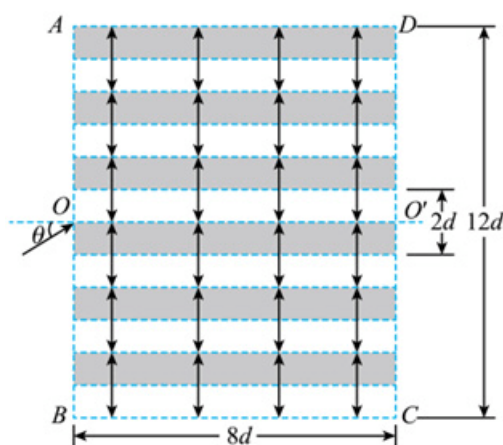
$$t = t_1 + t_2 = \frac{3d}{2} \sqrt{\frac{m}{qU}}$$

3. (2022 江苏 高考真题) 某装置用电场控制带电粒子运动，工作原理如图所示，矩形 ABCD 区域内存在多层紧邻的匀强电场，每层的高度均为 d ，电场强度大小均为 E ，方向沿竖直方向交替变化，AB 边长为 $12d$ ，BC 边长为 $8d$ ，质量为 m 、电荷量为 q 的粒子流从装置左端中点射入电场，粒子初动能为 E_k ，入射角为 θ ，在纸面内运动，不计重力及粒子间的相互作用力。

(1) 当 $E_k = 0$ 时，若粒子能从 CD 边射出，求该粒子通过电场的时间；

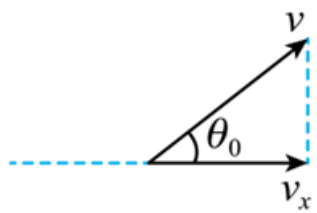
(2) 当 $E_k = 4qEd$ 时，若粒子从 CD 边射出电场时与轴线 OO' 的距离小于 d ，求入射角 θ 的范围；

(3) 当 $E_k = \frac{8}{3}qEd$ ，粒子在 θ 为 $\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2}$ 范围内均匀射入电场，求从 CD 边出射的粒子与入射粒子的数量之比 $N : N_0$ 。



【答案】(1) $t = \frac{8d}{v \cos \theta_0} = \frac{8d}{\sqrt{\frac{2E_k}{m}} \cos \theta_0}$; (2) 30° 或 30° 或 $\frac{\pi}{6}$ 或 $\frac{\pi}{6}$; (3) $N : N_0 = 50\%$

【答案解析】(1) 电场方向竖直向上，粒子所受电场力在竖直方向上，粒子在水平方向上做匀速直线运动，速度分解如图所示



粒子在水平方向的速度为

$$v_x = v \cos \theta_0$$

根据 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 可知

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}$$

解得

$$t = \frac{8d}{v_x} = \frac{8d}{\cos \theta_0} \sqrt{\frac{m}{2E_k}}$$

(2) 粒子进入电场时的初动能

$$E_k = 4qEd = \frac{1}{2}mv_0^2$$

粒子进入电场沿电场方向做减速运动，由牛顿第二定律可得

$$qE = ma$$

粒子从 CD 边射出电场时与轴线 OO' 的距离小于 d，则要求

$$2ad = (v_0 \sin \theta_0)^2$$

解得

$$\frac{1}{2} \sin^2 \theta_0 = \frac{1}{2}$$

所以入射角的范围为

$$30^\circ \leq \theta_0 \leq 30^\circ \text{ 或 } \frac{\pi}{6} \leq \theta_0 \leq \frac{\pi}{6}$$

(3) 设粒子入射角为 θ' 时，粒子恰好从 D 点射出，由于粒子进入电场时，在水平方向做匀速直线运动，在竖直方向反复做加速相同的减速运动，加速运动。粒子的速度

$$v' = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{3qEd}{m}}$$

运动时间为

$$t_{\text{总}} = \frac{8d}{v' \cos \theta'} = \frac{2}{\cos \theta'} \sqrt{\frac{3md}{qE}}$$

粒子在沿电场方向，反复做加速相同的减速运动，加速运动，则

$$2ad = v_{1d}^2 - (v' \sin \theta')^2$$

$$2ad = v_{2d}^2 - (v_{1d})^2$$

$$2ad = v_{3d}^2 - (v_{2d})^2$$

$$2ad = v_{4d}^2 - (v_{3d})^2$$

$$2ad = v_{5d}^2 - (v_{4d})^2$$

$$2ad = v_{6d}^2 - (v_{5d})^2$$

则

$$v_{2d} = v_{4d} = v_{6d} = v' \sin \theta'$$

$$v_{1d} = v_{3d} = v_{5d}$$

则粒子在分层电场中运动时间相等，设为 t_0 ，则

$$t_0 = \frac{1}{6} t_{\text{总}} = \frac{1}{6} \frac{8d}{v' \cos \theta'} = \frac{4d}{3v' \cos \theta'}$$

且

$$d = v' \sin \theta' t_0 - \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t_0^2$$

代入数据化简可得

$$6 \cos^2 \theta' - 8 \sin \theta' \cos \theta' - 1 = 0$$

即

$$\tan \theta' - 8 \tan \theta' - 7 = 0$$

解得

$$\tan \theta' = 7 \text{ (舍去) 或 } \tan \theta' = -1$$

解得

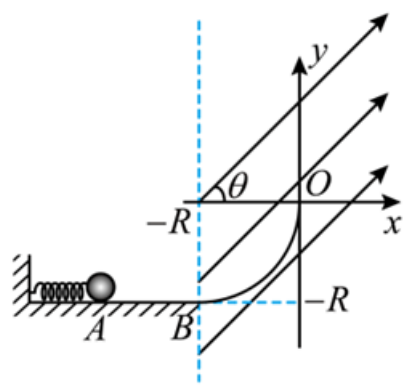
$$\theta' = \frac{\pi}{4}$$

则从CD 边出射的粒子与入射粒子的数量之比

$$N : N_0 = \frac{1}{2} \quad 50\%$$

4. (2022 辽宁 高考真题) 如图所示, 光滑水平面 AB 和竖直面内的光滑 $\frac{1}{4}$ 圆弧导轨在 B 点平滑连接, 导轨半径为 R。质量为 m 的带正电小球将轻质弹簧压缩至 A 点后由静止释放, 脱离弹簧后经过 B 点时的速度大小为 \sqrt{gR} , 之后沿轨道 BO 运动。以 O 为坐标原点建立直角坐标系 xOy, 在 x > R 区域有方向与 x 轴夹角为 45° 的匀强电场, 进入电场后小球受到的电场力大小为 $\sqrt{2}mg$ 。小球在运动过程中电荷量保持不变, 重力加速度为 g。求:

- (1) 弹簧压缩至 A 点时的弹性势能;
- (2) 小球经过 O 点时的速度大小;
- (3) 小球过 O 点后运动的轨迹方程。



【答案】(1) $\frac{1}{2}mgR$; (2) $v_0 = \sqrt{3gR}$; (3) $y^2 = 6Rx$

【答案解析】(1) 小球从 A 到 B, 根据能量守恒定律得

$$E_p = \frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}mgR$$

(2) 小球从 B 到 O, 根据动能定理有

$$mgR - qE \sqrt{2}R = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

解得

$$v_0 = \sqrt{3gR}$$

(3) 小球运动至 O 点时速度竖直向上, 受电场力和重力作用, 将电场力分解到 x 轴和 y 轴, 则 x 轴方向有

$$qE \cos 45^\circ = ma_x$$

竖直方向有

$$qE \sin 45^\circ - mg = ma_y$$

解得

$$a_x = g, a_y = 0$$

说明小球从 O 点开始以后的运动为 x 轴方向做初速度为零的匀加速直线运动，y 轴方向做匀速直线运动，即做类平抛运动，则有

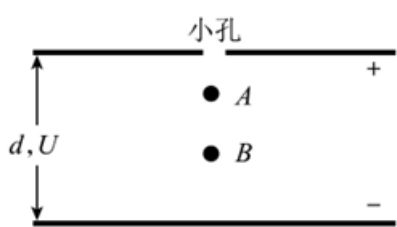
$$x = \frac{1}{2}gt^2, y = v_0 t$$

联立解得小球过 O 点后运动的轨迹方程

$$y^2 = 6Rx$$

5. (2022 广东 高考真题) 密立根通过观测油滴的运动规律证明了电荷的量子性，因此获得了 1923 年的诺贝尔奖。图是密立根油滴实验的原理示意图，两个水平放置、相距为 d 的足够大金属极板，上极板中央有一小孔。通过小孔喷入一些小油滴，由于碰撞或摩擦，部分油滴带上了电荷。有两个质量均为 m_0 、位于同一竖直线上的球形小油滴 A 和 B，在时间 t 内都匀速下落了距离 h_1 。此时给两极板加上电压 U (上极板接正极)，A 继续以原速度下落，B 经过一段时间后向上匀速运动。B 在匀速运动时间 t 内上升了距离 h_2 ， $h_2 > h_1$ ，随后与 A 合并，形成一个球形新油滴，继续在两极板间运动直至匀速。已知球形油滴受到的空气阻力大小为 $f = km_0^{\frac{1}{3}}v$ ，其中 k 为比例系数， m 为油滴质量， v 为油滴运动速率，不计空气浮力，重力加速度为 g 。求：

- (1) 比例系数 k ；
- (2) 油滴 A、B 的带电量和电性；B 上升距离 h_2 电势能的变化量；
- (3) 新油滴匀速运动速度的大小和方向。



【答案】(1) $k = \frac{m_0^{\frac{2}{3}}gt}{h_1}$ ；(2) 油滴 A 不带电，油滴 B 带负电，电荷量 $q = \frac{m_0gd(h_2 - h_1)}{h_1U}$ ，电势能的变化量 $E_p = \frac{m_0gh(h_2 - h_1)}{h_1}$ ；(3) 见答案解析

【答案解析】(1) 未加电压时，油滴匀速时的速度大小

$$v_1 = \frac{h_1}{t}$$

匀速时

$$m_0g = f$$

又

$$f = km_0 \frac{v_1}{3}$$

联立可得

$$k = \frac{m_0 \frac{2}{3}gt}{h_1}$$

(2) 加电压后，油滴 A 的速度不变，可知油滴 A 不带电，油滴 B 最后速度方向向上，可知油滴 B 所受电场力向上，极板间电场强度向下，可知油滴 B 带负电，油滴 B 向上匀速运动时，速度大小为

$$v_2 = \frac{h_2}{t}$$

根据平衡条件可得

$$m_0 g = km_0 \frac{v_2}{3} \frac{U}{d} q$$

解得

$$q = \frac{m_0 g d (h_1 + h_2)}{h_1 U}$$

根据

$$E_p = W_{电}$$

又

$$W_{电} = \frac{U}{d} q h_2$$

联立解得

$$E_p = \frac{m_0 g h (h_1 + h_2)}{h_1}$$

(3) 油滴 B 与油滴 A 合并后，新油滴的质量为 $2m_0$ ，新油滴所受电场力

$$F = \frac{Uq}{d} = \frac{m_0 g (h_1 + h_2)}{h_1}$$

若 $F > 2m_0 g$ ，即

$$h_2 > h_1$$

可知

$$v_2 > v_1$$

新油滴速度方向向上，设向上为正方向，根据动量守恒定律

$$m_0 v_2 + m_0 v_1 = 2m_0 v_{\text{共}}$$

可得

$$v_{\text{共}} = 0$$

新油滴向上加速，达到平衡时

$$2m_0 g + k \frac{2m_0^{\frac{1}{3}} v_2^{\frac{1}{3}}}{v_2} = F$$

解得速度大小为

$$v_2 = \frac{h}{\sqrt[2]{\sqrt{2t}}}$$

速度方向向上；

若 $F' = 2m_0 g$ ，即

$$h_1 = h_2$$

可知

$$v_2 = v_1$$

设向下为正方向，根据动量守恒定律

$$m_0 v_1 + m_0 v_2 = 2m_0 v'_{\text{共}}$$

可知

$$v'_{\text{共}} = 0$$

新油滴向下加速，达到平衡时

$$2m_0 g + F = k \frac{2m_0^{\frac{1}{3}} v_2^{\frac{1}{3}}}{v_2}$$

解得速度大小为

$$v_2 = \frac{h}{\sqrt[1]{\sqrt{2t}}}$$

速度方向向下。

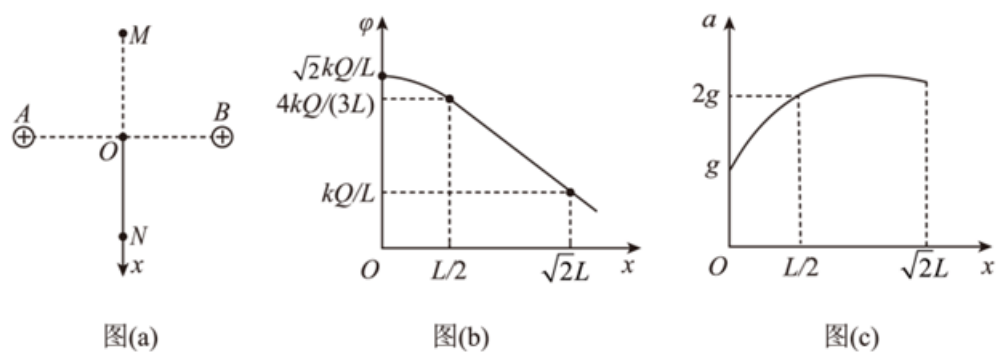
6. (2021 福建 统考高考真题) 如图 (a)，同一竖直平面内 A、B、M、N 四点距 O 点的距离均为 $\sqrt{2}L$ ，O 为水平连线 AB 的中点，M、N 在 AB 连线的中垂线上。A、B 两点分别固定有一点电荷，电荷量均为 Q ($Q > 0$)。以 O 为原点，竖直向下为正方向建立 x 轴。若取无穷远处为电势零点，则 ON 上的电势 ϕ 随位置 x 的变化关系如图 (b) 所示。一电荷量为 Q ($Q > 0$) 的小球 S_1 以一定初动能从 M 点竖直下落，一段时间后经过 N 点，

其在ON段运动的加速度大小a随位置x的变化关系如图(c)所示。图中g为重力加速度大小，k为静电力常量。

(1) 求小球 S_1 在M点所受电场力大小。

(2) 当小球 S_1 运动到N点时，恰与一沿x轴负方向运动的不带电绝缘小球 S_2 发生弹性碰撞。已知 S_1 与 S_2 的质量相等，碰撞前、后 S_1 的动能均为 $\frac{4kQ^2}{3L}$ ，碰撞时间极短。求碰撞前 S_2 的动量大小。

(3) 现将 S_2 固定在N点，为保证 S_1 能运动到N点与之相碰， S_1 从M点下落时的初动能须满足什么条件？



【答案】(1) $\frac{\sqrt{2}kQ^2}{4L^2}$; (2) $\frac{8kQ^2\sqrt{gL}}{9gL^2}$; (3) $E_k \frac{(13-8\sqrt{2})kQ^2}{27L}$

【答案解析】(1) 设A到M点的距离为 R_M ，A点的电荷对小球 S_1 的库仑力大小为 F_A ，由库仑定律有

$$F_A = \frac{kQ^2}{R_M^2} \quad ①$$

设小球 S_1 在M点所受电场力大小为 F_M ，由力的合成有

$$F_M = 2F_A \sin 45^\circ \quad ②$$

联立①②式，由几何关系并代入数据得

$$F_M = \frac{\sqrt{2}kQ^2}{4L^2} \quad ③$$

(2) 设O点下方 $\frac{L}{2}$ 处为C点，A与C的距离为 R_C ，小球 S_1 在C处所受的库仑力大小为 F_C ，由库仑定律和力的合成有

$$F_C = 2\frac{kQ^2}{R_C^2} \sin \theta \quad ④$$

式中

$$\sin \theta = \frac{OC}{R_C}$$

设小球 S_1 的质量为 m_1 ，小球 S_1 在C点的加速度大小为a，由牛顿第二定律有

$$F_c - m_1 g = m_1 a \quad (5)$$

由图 (c) 可知, 式中

$$a = 2g$$

联立④⑤式并代入数据得

$$m_1 = \frac{8kQ^2}{27gL^2} \quad (6)$$

设 S_2 的质量为 m_2 , 碰撞前、后 S_1 的速度分别为 v_1 , v_1' , S_2 碰撞前、后的速度分别为 v_2 , v_2' , 取竖直向下为正方向。由动量守恒定律和能量守恒定律有

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (7)$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \quad (8)$$

设小球 S_2 碰撞前的动量为 p_2 , 由动量的定义有

$$p_2 = m_2 v_2 \quad (9)$$

依题意有

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 = \frac{4kQ^2}{3L}$$

$$m_1 = m_2$$

联立⑥⑦⑧⑨式并代入数据, 得

$$p_2 = \frac{8kQ^2 \sqrt{gL}}{9gL^2} \quad (10)$$

即碰撞前 S_2 的动量大小为 $\frac{8kQ^2 \sqrt{gL}}{9gL^2}$ 。

(3) 设 O 点上方 $\frac{L}{2}$ 处为 D 点。根据图 (c) 和对称性可知, S_1 在 D 点所受的电场力大小等于小球的重力大小, 方向竖直向上, S_1 在此处加速度为 0 ; S_1 在 D 点上方做减速运动, 在 D 点下方做加速运动, 为保证 S_1 能运动到 N 点与 S_2 相碰, S_1 运动到 D 点时的速度必须大于零。

设 M 点与 D 点电势差为 U_{MD} , 由电势差定义有

$$U_{MD} = \frac{W_{MD}}{q}$$

设小球 S_1 初动能为 E_k , 运动到 D 点的动能为 E_{kD} , 由动能定理有

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/198027101011007001>