

第十章 静电场中的能量

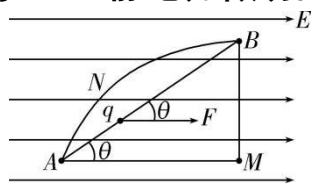
第1节 电势能和电势

课时学习素养目标：1.知道静电力做功的特点，掌握静电力做功与电势能变化之间的关系。（科学思维）

2.理解电势能、电势的概念，知道电势、电势能的相对性。（物理观念）

3.会判断电场中两点电势的高低。（科学思维）

任务学习一 静电力做功的特点



如图所示，试探电荷 q 在电场强度为 E 的匀强电场中运动。

(1) 沿直线从 A 移动到 B ，静电力做的功为多少？

[答案]静电力 $F = qE$ ，静电力与位移间的夹角为 θ ，静电力对试探电荷 q 做的功 $W = F|AB|\cos\theta = qE|AM|$ 。

(2) 若 q 沿折线 AMB 从 A 点移动到 B 点，静电力做的功为多少？

[答案]在线段 AM 上静电力做的功 $W_1 = qE|AM|$ ，在线段 MB 上静电力做的功 $W_2 = 0$ ，总功 $W = W_1 + W_2 = qE|AM|$ 。

(3) 若 q 沿任意曲线从 A 点移动到 B 点，静电力做的功为多少？由此可得出什么结论？

[答案] $W = qE|AM|$ 。在匀强电场中移动电荷时，静电力做的功与电荷经过的路径无关，与电荷的始、末位置有关。

新知梳理

1.特点：在匀强电场中移动电荷时，静电力所做的功与电荷的起始位置和终止位置有关，与电荷经过的路径无关。

2.匀强电场中静电力做功的大小： $W = qE \cdot l$ ，其中 l 为电荷沿电场方向移动的位移。

思考交流

1.判断下列说法正误。

(1) 只要电荷在电场中移动，静电力一定做功。 (×)

[解析]电荷必须在静电力的方向上有位移，静电力才做功。

(2) 在匀强电场中将同一电荷移动同样的距离，静电力做功相同。 (×)

[解析]电荷移动的距离必须是沿电场线方向上的距离。

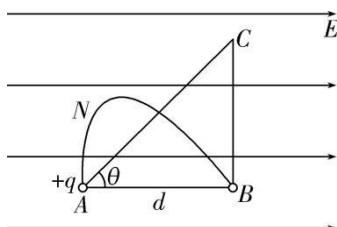
(3) 电场力做功与重力做功类似，与初末位置有关，与路径无关。 (√)

2. 一电荷在某电场中运动了一周又回到出发点，静电力对该电荷做功吗？

[答案]不做功。由功的定义式可知，电荷运动一周的位移为0，故静电力一定不做功。

典例精讲

例1 [2024 江苏徐州高二月考]如图所示，电场强度为 E 的匀强电场中，带电荷量为 $+q$ 的电荷沿直线 AB 、折线 ACB 、曲线 ANB 运动，已知 AB 长为 d 。关于静电力做功的大小关系，下列说法正确的是 (A)



A. 沿三条路径运动时，静电力做功一样多

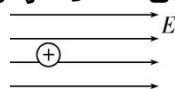
B. 沿直线 AB 运动时，静电力做功最少

C. 沿折线 ACB 运动时，静电力做功最多

D. 沿直线 AB 运动时，静电力做功最多

[解析]静电力做功与电荷经过的路径无关，电荷沿直线 AB 、折线 ACB 、曲线 ANB 运动，其初、末位置相同，静电力做功一样多。故选A。

任务学习二 电势能



一个试探电荷在匀强电场中某点由静止释放，仅在静电力的作用下它将如何运动？动能将如何变化？是什么能转化为试探电荷的动能？

[答案]试探电荷将做加速运动；动能增大；电势能转化为试探电荷的动能。

新知梳理

1.概念：电荷在电场中具有的势能，用 E_p 表示。

2.静电力做的功与电势能变化的关系： $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$ 。静电力做正功，电势能减少；静电力做负功，电势能增加。

3.大小：电荷在某点的电势能，等于把它从这点移动到零势能位置时静电力所做的功。

4.零势能位置：电场中规定的电势能为0的位置。通常把电荷在离场源电荷无限远处的电势能规定为0，或把电荷在大地表面的电势能规定为0。

5.系统性：电势能是相互作用的电荷所共有的，或者说是电荷及对它作用的电场所共有的。

思考交流

1.判断下列说法正误。

(1) 电势能是相对的，其大小与规定的零势能点有关。 (☒)

(2) 静电力做正功，电荷的电势能一定减小。 (☒)

2.电势能有正、负，是矢量吗？

[答案]电势能是标量。电势能为正值时，表明电荷在该处电势能大于零；当电势能为负值时，表明电荷在该处电势能小于零。

3.电势能的变化量与零势能点的选取有关吗？

[答案]静电力做的功只能决定电势能的变化量，并且静电力做的功与零势能点的选取无关，故电势能的变化量与零势能点的选取无关。

典例精讲

例2 有一电荷量 $q = -3 \times 10^{-6} \text{ C}$ 的电荷，从电场中的A点移到B点时，克服静电力做功 $6 \times 10^{-4} \text{ J}$ 。则：

(1) 电荷的电势能怎样变化？变化了多少？

[答案]见解析

[解析]静电力做功 $W_{AB} = -6 \times 10^{-4} \text{ J}$ ，电荷的电势能增加了 $6 \times 10^{-4} \text{ J}$ 。

(2) 以B点为零势能点，电荷在A点的电势能 E_{pA} 是多少？

[答案]见解析

[解析]以B点为零势能点，电荷在A点的电势能 $E_{pA} = -6 \times 10^{-4} \text{ J}$ 。

(3) 如果把这一电荷从B点移到C点时，静电力做功 $9 \times 10^{-4} \text{ J}$ ，电荷的电势能怎样变化？变化了多少？如果选取C点为零势能点，则电荷在A点的电势能 E_{pA}' 又是多少？

[答案]见解析

[解析]电荷从 B 点移动到 C 点时静电力做功 $W_{BC} = 9 \times 10^{-4} \text{ J}$ ，电荷的电势能减少了 $9 \times 10^{-4} \text{ J}$ 。以 C 点为零势能点，则电荷在 A 点的电势能 $E_{pA}' = W_{AC} = W_{AB} + W_{BC} = 3 \times 10^{-4} \text{ J}$ 。

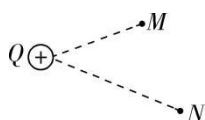
(4) 通过这一例题你有什么收获？

[答案]见解析

[解析]取不同的零势能点，同一电荷在电场中同一点的电势能是不同的。

迁移应用

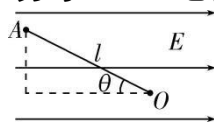
1. 多选题如图所示，固定在 Q 点的正点电荷的电场中有 M 、 N 两点，已知 $MQ < NQ$ 。下列叙述正确的是（ AD ）



- A. 若把一正点电荷从 M 点沿直线移到 N 点，则静电力对该电荷做正功，电势能减少
- B. 若把一正点电荷从 M 点沿直线移到 N 点，则该电荷克服静电力做功，电势能增加
- C. 若把一负点电荷从 M 点沿直线移到 N 点，则静电力对该电荷做正功，电势能减少
- D. 若把一负点电荷从 M 点沿直线移到 N 点，再从 N 点沿不同路径移回到 M 点，则该电荷的电势能不变

[解析]由题可知正点电荷从 M 点到 N 点，静电力做正功，电势能减少，故选项 A 正确，选项 B 错误；负点电荷从 M 点到 N 点，克服静电力做功，电势能增加，故选项 C 错误；静电力做功与路径无关，负点电荷从 M 点出发，最终回到 M 点，整个过程中静电力不做功，电势能不变，故选项 D 正确。

任务学习三 电势



在如图所示的匀强电场中，电场强度为 E ，取 O 点为零势能点， A 点与 O 点的距离为 l ， AO 连线与电场强度负方向的夹角为 θ 。

(1) 电荷量分别为 q 和 $2q$ 的正试探电荷在 A 点的电势能分别为多少？

[答案] $Eql \cos \theta$ $2Eql \cos \theta$

(2) 不同试探电荷在同一点的电势能与电荷量的比值是否相同?

[答案]比值相同

(3) 不同试探电荷在同一点的电势能与电荷量的比值与试探电荷的电荷量是否有关系?

[答案]无关

新知梳理

1.定义: 电荷在电场中某一点的电势能与它的电荷量之比。

2.公式: $\varphi = \frac{E_p}{q}$ 。

3.单位: 在国际单位制中, 电势的单位是伏特, 符号是 V, $1\text{ V}=1\text{ J/C}$ 。

4.特点

(1) 与电场线的关系: 沿着电场线方向电势逐渐降低。

(2) 相对性: 电场中各点电势的高低, 与所选取的零电势点的位置有关, 一般情况下取离场源电荷无限远处的电势为 0, 在实际应用中常取大地的电势为 0。

(3) 标矢性: 电势是标量, 只有大小, 没有方向, 但有正、负。

思考交流

判断下列说法正误。

(1) 电势有正负之分, 是矢量。 ($\times$)

[解析]电势的正负不表示方向, 是标量。

(2) 电荷在电场中具有的电势能越大, 该点的电势越高。 ($\times$)

[解析]正电荷在电势越高处的电势能越大, 负电荷在电势越高处的电势能越小。

(3) 电势降低的方向一定是电场线的方向。 ($\times$)

[解析]电势降低最快的方向是电场线的方向。

(4) 电场强度为零的地方, 电势一定为零。 ($\times$)

[解析]电场强度和电势没有直接关系, 电场强度为 0 的地方, 电势不一定为 0。

典例精讲

例 3 如果把电荷量为 $q = 1.0 \times 10^{-8}\text{ C}$ 的电荷从无限远处移到电场中的 A 点, 需要克服静电力做功 $W = 1.2 \times 10^{-4}\text{ J}$, 令无限远处电势为零, 那么:

(1) 电荷 q 在 A 点的电势能和 A 点的电势各是多少?

[答案] $1.2 \times 10^{-4}\text{ J}$ $1.2 \times 10^4\text{ V}$

[解析]静电力做负功，电势能增加，无限远处的电势为零，电荷在无限远处的电势能也为零，即 $\varphi_{\infty} = 0$ ， $E_{p\infty} = 0$ 。

由 $W_{\infty A} = E_{p\infty} - E_{pA}$ 得 $E_{pA} = E_{p\infty} - W_{\infty A} = 0 \text{ J} - (-1.2 \times 10^{-4} \text{ J}) = 1.2 \times 10^{-4} \text{ J}$

再由 $\varphi_A = \frac{E_{pA}}{q}$ 得 $\varphi_A = 1.2 \times 10^4 \text{ V}$ 。

(2) 电荷 q 移入电场前， A 点的电势是多少？

[答案] $1.2 \times 10^4 \text{ V}$

[解析] A 点的电势是由电场中该点的性质决定的，跟 A 点是否存在电荷无关，所以电荷 q 移入电场前， A 点的电势仍为 $1.2 \times 10^4 \text{ V}$ 。

总结归纳

1. 电势与电势能的区别与联系

项目	电势 φ	电势能 E_p
相关因素	电场中某一点的电势 φ 的大小，由电场本身性质决定，跟点电荷 q 无关	电势能的大小是由点电荷 q 和该点电势 φ 共同决定的
大小	电势沿电场线方向逐渐降低，规定零电势点后，某点的电势高于零，则为正值；某点的电势低于零，则为负值	正点电荷($+q$)：电势能的正负跟电势的正负相同 负点电荷($-q$)：电势能的正负跟电势的正负相反
联系	$\varphi = \frac{E_p}{q}$ 或 $E_p = q\varphi$ ，二者均是标量，计算时 E_p 、 q 均需要代入正负号	

2. 电势高低的判断方法

电场线法	沿电场线方向，电势越来越低
场源电荷判断法	离场源正电荷越近的点，电势越高；离场源负电荷越近的点，电势越低
电势能判断法	对于正电荷，电势能越大，所在位置的电势越高；对于负电荷，电势能越小，所在位置的电势越高

迁移应用

甲

乙

物体从 a 点下落到 b 点，影响重力做功的因素是 a 、 b 两点的高度差，而不是 a 、 b 点的高度；在电场强度为 E 的匀强电场中，正电荷从 A 点运动到 B 点，影响静电力做功的因素是 A 或 B 点的电势还是 A 、 B 两点电势的差值？

[答案] A 、 B 两点电势的差值。

新知梳理

1.定义：在电场中，两点之间电势的差值叫作电势差，电势差也叫作电压。

2.公式：设电场中 A 点的电势为 φ_A ， B 点的电势为 φ_B ，则 A 、 B 两点之间的电势差可以表示为 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ ， B 、 A 两点之间的电势差可以表示为 $U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A$ ，所以 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。

3.电势差的正负：电势差是标量，但有正、负。电势差的正、负表示两点电势的高低。所以电场中各点间的电势差可用代数法依次相加。

4.静电力做的功与电势差的关系： $W_{AB} = qU_{AB}$ ， $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ 。

思考交流

1.判断下列说法正误。

(1) 电场中 A 、 B 两点间的电势差，不仅与 A 、 B 两点的位置有关，还与零电势点的选取有关。 (×)

[解析] A 、 B 两点间的电势差与零电势点的选取无关。

(2) 电场中任意两点间的电势差，均与是否放入试探电荷无关。 (√)

(3) 当 $\varphi_B = 0$ 时， $U_{AB} = \varphi_B$ 。 (×)

[解析] $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ ，当 $\varphi_B = 0$ 时， $U_{AB} = \varphi_A$ 。

2. $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ ， U_{AB} 与 W_{AB} 成正比吗？

[答案] U_{AB} 由电场本身决定，与 W_{AB} 无关。

典例精讲

例 1 有一带电荷量 $q = -3 \times 10^{-6} \text{ C}$ 的点电荷，从电场中的 A 点移到 B 点时，克服静电力做功 $6 \times 10^{-4} \text{ J}$ ，从 B 点移到 C 点时，静电力做功 $9 \times 10^{-4} \text{ J}$ 。则：

(1) A 点与 B 点、 B 点与 C 点、 C 点与 A 点间电势差各为多少？

[答案] 200 V -300 V 100 V

[解析]根据 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$, 可得 $U_{AB} = \frac{-6 \times 10^{-4}}{-3 \times 10^{-6}} \text{ V} = 200 \text{ V}$, $U_{BC} = \frac{9 \times 10^{-4}}{-3 \times 10^{-6}} \text{ V} = -300 \text{ V}$,

$$U_{CA} = U_{CB} + U_{BA} = -U_{BC} - U_{AB} = 100 \text{ V}.$$

(2) 如果 B 点电势为零, 则 A 、 C 两点的电势各为多少? 点电荷在 A 、 C 两点的电势能各为多少?

[答案]200 V 300 V $-6 \times 10^{-4} \text{ J}$ $-9 \times 10^{-4} \text{ J}$

[解析]若 $\varphi_B = 0$, 则 $\varphi_A = 200 \text{ V}$, $\varphi_C = 300 \text{ V}$

$$E_{pA} = \varphi_A q = 200 \times (-3 \times 10^{-6}) \text{ J} = -6 \times 10^{-4} \text{ J}$$

$$E_{pC} = \varphi_C q = 300 \times (-3 \times 10^{-6}) \text{ J} = -9 \times 10^{-4} \text{ J}.$$

总结归纳

1. 电势差与电势的对比

		电势 φ	电势差 U
区别	决定因素	由电场和在电场中的位置决定	由电场和电场内两点位置决定
	相对性	与零电势位置的选取有关	与零电势位置的选取无关
联系	关系式	$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$, 当 $\varphi_B = 0$ 时, $U_{AB} = \varphi_A$	

2. 应用公式 $W_{AB} = qU_{AB}$ 求解时, 可将各物理量的正负号及数值一并代入进行计算。

迁移应用

1. [2023 辽宁大连月考]多选题下列说法正确的是 (AC)

A. 电场中两点间电势的差值叫电势差, 也叫电压

B. 电势差与电势一样, 是相对量, 与零电势点的选取有关

C. U_{AB} 表示 A 点与 B 点之间的电势差, 即 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$

D. A 、 B 两点间的电势差是恒定的, 不随零电势点的改变而改变, 所以 $U_{AB} = U_{BA}$

[解析]电场中两点间电势的差值叫电势差, 也叫电压, A 正确; 电势差的大小与零电势点的选取无关, B 错误; 电势差可以反映出两点电势的高低, $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = -U_{BA}$, C 正确, D 错误。

2. [2024 山东潍坊高一期末]将电荷量 $q = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的带电粒子从电场中的 A 点移到 B 点过程中, 静电力做功 $W_1 = -9.6 \times 10^{-19} \text{ J}$; 再从 B 点移到无穷远过程中, 静电力做功 $W_2 = 14.4 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。取无穷远处电势为零, 求:

(1) 带电粒子在B点的电势能 E_{pB} 及B点的电势;

[答案] $14.4 \times 10^{-19} \text{ J}$ -9 V

[解析]带电粒子从电场中的A点移到B点过程中, 静电力做功 $W_1 = -9.6 \times$

10^{-19} J , 由静电力做功与电势差的关系, 可得 $U_{AB} = \frac{W_1}{q} = \frac{-9.6 \times 10^{-19}}{-1.6 \times 10^{-19}} \text{ V} = 6 \text{ V}$

再从B点移到无穷远过程中, 静电力做功 $W_2 = 14.4 \times 10^{-19} \text{ J}$, 则有

$$U_{B\infty} = \frac{W_2}{q} = \frac{14.4 \times 10^{-19}}{-1.6 \times 10^{-19}} \text{ V} = -9 \text{ V}$$

$$U_{B\infty} = \varphi_B - \varphi_{\infty} = -9 \text{ V}$$

取无穷远处电势为零

可得 $\varphi_B = -9 \text{ V}$

由 $E_p = q\varphi$, 可得带电粒子在B点的电势能 $E_{pB} = q\varphi_B = -1.6 \times 10^{-19} \times (-9) \text{ J} = 14.4 \times 10^{-19} \text{ J}$

(2) A点的电势 φ_A 及带电粒子在A点的电势能 E_{pA} 。

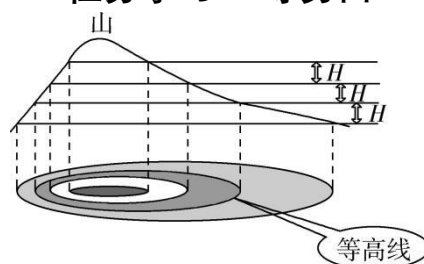
[答案] -3 V $4.8 \times 10^{-19} \text{ J}$

[解析] $U_{A\infty} = U_{AB} + U_{B\infty} = 6 \text{ V} + (-9 \text{ V}) = -3 \text{ V}$

A点的电势 $\varphi_A = -3 \text{ V}$

带电粒子在A点的电势能 $E_{pA} = q\varphi_A = -1.6 \times 10^{-19} \times (-3) \text{ J} = 4.8 \times 10^{-19} \text{ J}$

任务学习二 等势面



如图所示是我们在地理上学到的等高线的表示方法, 思考: 类比到电场中, 我们怎样用类似的方法表示电场中电势相等的各点呢?

[答案]等势面

新知梳理

1.定义: 在电场中电势相同的各点构成的面。

2.等势面的特点

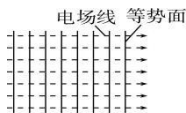
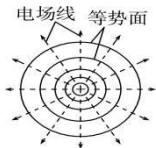
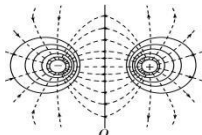
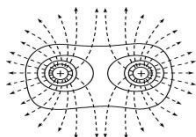
(1) 在同一等势面上移动电荷时, 静电力不做功。

(2) 等势面跟电场线垂直。

(3) 电场线由电势高的等势面指向电势低的等势面。

(4) 任意两等势面都不相交。

3.几种常见的电场的等势面分布

电场	等势面（实线）图样（相邻两个等势面间的电势差相等）	重要描述
匀强电场		垂直于电场线的一簇平面
点电荷的电场		以点电荷为球心的一簇球面
等量异种点电荷的电场		两点电荷连线的中垂线上的电势为零
等量同种正点电荷的电场		两点电荷连线上，中点电势最低，而在中垂线上，中点电势最高

由图可知，在电场线越密集处，等差等势面越密集，电场强度越大，在电场线越稀疏处，等差等势面越稀疏，电场强度越小。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 电荷在等势面上移动时不受静电力作用，所以不做功。 (×)

[解析]电荷在等势面上移动时受静电力作用，但静电力与等势面垂直，所以移动时不做功。

(2) 匀强电场中的等势面是相互平行且垂直于电场线的一簇平面。 (√)

(3) 等势面上各点的电场强度相同。 (×)

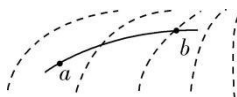
[解析]等势面上各点的电势相同，电场强度不一定相同。

2. 两个等势面为什么不可以相交？

[答案]因为确定好零电势后，电场中某点的电势为定值，如果相交说明交点的电势有两个值。

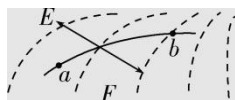
典例精讲

例2 电子显微镜是冷冻电镜中的关键部分，其中的一种电子透镜的电场分布如图所示（截取其中一部分），虚线为等势面，相邻等势面间的电势差相等，一电子仅在静电力作用下运动的轨迹如图中实线所示， a 、 b 是轨迹上的两点，则（ C ）



- A. a 点的电场强度大于 b 点的电场强度
- B. 电子在 a 点的动能大于在 b 点的动能
- C. 电子在 a 点的电势能大于在 b 点的电势能
- D. a 点的电势高于 b 点的电势

[解析] b 点处等势面比 a 点处等势面密集，已知相邻等势面间的电势差相等，则 a 点的电场强度小于 b 点的电场强度，A错误。根据电场方向与等势面垂直，静电力方向指向运动轨迹的凹侧，可知电子在电场中的受力和电场方向，如图所示；根据沿电场方向电势降低，可知 a 点的电势低于 b 点的电势；由于电子带负电，电子在 a 点的电势能大于在 b 点的电势能；由于只有静电力做功，电势能和动能之和保持不变，故电子在 a 点的动能小于在 b 点的动能，C正确，B、D错误。



总结归纳

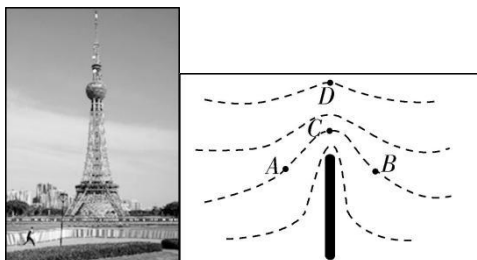
（1）等势面总是和电场线垂直，已知电场线可以画出等势面，已知等势面也可以画出电场线。

（2）带电粒子运动轨迹的分析

- ①判断速度方向：带电粒子运动轨迹上某点的切线方向为粒子在该点处的速度方向。
- ②判断静电力（或电场强度）的方向：仅受静电力作用时，带电粒子所受静电力方向指向轨迹的凹侧，再根据粒子带电的正、负判断电场强度的方向。
- ③判断静电力做功的正、负及电势能的增减：若静电力与速度方向成锐角，则静电力做正功，电势能减少；若静电力与速度方向成钝角，则静电力做负功，电势能增加。

迁移应用

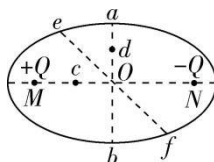
3. [2023 广东佛山期末]某电视塔顶端装有高大的避雷针，当带负电的积雨云经过其上方时，避雷针的顶端会因静电感应带上正电，图中虚线为避雷针此时周围的等差等势线，其中 A 、 B 两点关于避雷针对称，下列说法正确的是（ C ）



- A. A 、 B 两点的电场强度相同
- B. D 点的场强大于 C 点的场强
- C. D 点的电势低于 A 点的电势
- D. 带负电的雨滴经过 D 点时的电势能小于其经过 A 点时的电势能

[解析]由于 A 、 B 两点关于避雷针对称，两点处等势线疏密程度相同，两点电场强度大小相等，但方向不同，故 A 错误。等差等势线密集的地方，电场线密集，所以 C 点场强大于 D 点场强，故 B 错误。电场线垂直等势面，且从高电势指向低电势；避雷针顶端带正电，其电势高于积雨云的电势，所以电场线经过 C 指向 D ， D 点电势低于 C 点电势；又由于 A 、 B 、 C 在同一等势线上，所以 D 点电势低于 A 点电势，故 C 正确。根据电势能表达式可知，电荷量为负值时，电势越低，电势能越大，故 D 错误。

4. [2024 河南南阳高二期中]如图所示，一椭圆的两焦点 M 、 N 处分别固定有两个等量异种电荷 $+Q$ 、 $-Q$ ， O 为椭圆中心， a 、 b 是椭圆短轴的两个端点， c 是 OM 上的一点， d 是 Oa 上的一点， e 、 f 是椭圆上关于 O 点对称的两个点，取无穷远处电势为零，下列说法中正确的是（ B ）



- A. a 、 b 两点电势相等，电场强度不同
- B. e 、 f 两点电场强度相同，电势不同
- C. 一个正试探电荷在 c 点受到的静电力大于在 d 点受到的静电力，在 c 点的电势能小于在 d 点的电势能

D. 将一个负试探电荷从 a 点沿直线移动到 O 点，再从 O 点沿直线移动到 c 点，负电荷的电势能先增大后减小

[解析]由等量异种点电荷电场线与等势线分布特点可知 a 、 b 两点电势相等，电场强度相同，故 A 错误；由对称性可知 e 、 f 两点电场强度相同，根据沿电场线方向电势降低可知，这两点的电势不同，故 B 正确；在等量异种点电荷电场中，有 $E_c > E_O, E_O > E_d$ ，可得 $E_c > E_d$ ，由 $F = qE$ 可知一个正试探电荷在 c 点受到的静电力大于在 d 点受到的静电力，根据 $\varphi_c > \varphi_d$ ，又 $E_p = q\varphi$ ，可知在 c 点的电势能大于在 d 点的电势能，故 C 错误；因为 a 和 O 处在同一等势面上，所以将一个负试探电荷从 a 点沿直线移动到 O 点，其电势能不变，又因为 O 点电势低于 c 点电势，所以将一个负试探电荷从 O 点沿直线移动到 c 点，负电荷的电势能减小，故 D 错误。

第 3 节 电势差与电场强度的关系

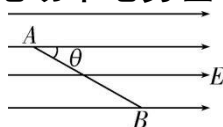
课时学习素养目标：1.知道匀强电场中电势差与电场强度的关系，了解其适用条件。（科学思维）

2.能利用关系式 $U = Ed$ 处理匀强电场问题。（科学思维）

3.能利用 $E = \frac{U}{d}$ 分析非匀强电场问题。（科学思维）

4.会用等分法确定等势面和电场线。（科学思维）

任务学习一 匀强电场中电势差与电场强度的关系



如图所示，在匀强电场中，有 A 、 B 两点，现将一个正电荷 q 从 A 点移到 B 点。

(1) 如果已知电场强度为 E ， A 、 B 两点间的距离为 L ，则该过程静电力做的功为多少？

[答案] $qEL \cos \theta$

(2) 如果已知 A 、 B 两点之间的电势差为 U ，则该过程静电力做的功为多少？

[答案] qU

(3) 根据两个方法计算的静电力做功能否得出电势差与电场强度的关系？

[答案]能 $U = EL \cos \theta$

新知梳理

1.关系：在匀强电场中，两点间的电势差等于电场强度与这两点沿电场方向的距离的乘积。

2.关系式： $U_{AB} = Ed$ 。

3.适用条件：匀强电场， d 是沿电场方向两点间的距离。

4.电场强度的另一种表达

(1) 表达式： $E = \frac{U_{AB}}{d}$ 。

(2) 物理意义：在匀强电场中，电场强度的大小等于两点之间的电势差与两点沿电场强度方向距离的比值。也就是说，电场强度在数值上等于沿电场方向单位距离上降低的电势。

(3) 场强的另一个单位：伏每米，符号 V/m， $1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$ 。

思考交流

判断下列说法正误。

(1) 匀强电场中沿电场线方向，任意相同距离上电势降落必定相等。 (☒)

(2) 匀强电场中距离相同的两点间电势差大的其电场强度也大。 (☒)

[解析]匀强电场中沿电场方向距离相同的两点间电势差大的其电场强度也大。

(3) 电场强度在数值上等于单位距离上降低的电势。 (☒)

[解析]电场强度在数值上等于沿电场方向单位距离上降低的电势。

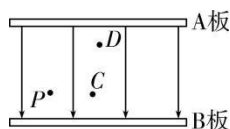
(4) 由 $E = \frac{U}{d}$ 可知，电场强度跟两点间的电势差成正比，跟两点的距离成反比。

(☒)

[解析]电场强度是电场本身的性质，与两点间的电势差和距离无关。

典例精讲

例 1 [2024 山东聊城高二期末]带有等量异种电荷、相距 10 cm 的平行板 A 和 B 之间有一匀强电场，如图，电场强度 $E = 2 \times 10^4 \text{ V/m}$ ，方向向下。电场中 C 点与 B 板的距离为 3 cm，D 点与 A 板的距离为 2 cm。下列说法正确的是 (☒)



A. $U_{CD} = 1\,000 \text{ V}$

B. 让 B 板接地，则 C 点的电势 $\varphi_C = 600 \text{ V}$

C. 让 A 板接地，则 D 点的电势 $\varphi_D = 400 \text{ V}$

D. 将一个电子从C点移到D点静电力做的功，与将电子先从C点移到P点再移到D点静电力做的功数值不同

[解析]C、D两点间的电势差为 $U_{CD} = -Ed_{CD} = -2 \times 10^4 \times (0.1 - 0.02 - 0.03) \text{ V} = -1000 \text{ V}$ ，故A错误；让B板接地，B板电势为零，则C点电势 $\varphi_C = Ed_{CB} = 2 \times 10^4 \times 3 \times 10^{-2} \text{ V} = 600 \text{ V}$ ，故B正确；让A板接地，A板电势为零，则D点电势 $\varphi_D = -Ed_{DA} = -400 \text{ V}$ ，故C错误；将一个电子从C点移到D点静电力做的功，与将电子先从C点移到P点再移到D点静电力做的功数值相同，故D错误。

总结归纳

1. 电势差的三种求解方法

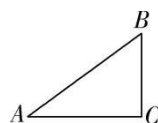
- (1) 应用定义式 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ 来求解。
- (2) 应用关系式 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ 来求解。
- (3) 应用关系式 $U_{AB} = Ed$ （匀强电场）来求解。

2. 关于场强的三个表达式的比较

公式	适用范围	说明
$E = \frac{F}{q}$	一切电场	q 为试探电荷的电荷量
$E = k\frac{Q}{r^2}$	在真空中点电荷 Q 的电场	Q 为场源电荷的电荷量
$E = \frac{U}{d}$	匀强电场	d 为沿电场方向的距离

迁移应用

1. [2023 河北保定月考]多选题如图所示，匀强电场中有A、B、C三点， $AC \perp BC$ ， $\angle B = 53^\circ$ ， $BC = 6 \text{ m}$ ，一个带电荷量为 $1.5 \times 10^{-6} \text{ C}$ 的负电荷由A点移到B点，电势能增加 $1.2 \times 10^{-5} \text{ J}$ ，由B点移到C点，静电力做功 $W_{BC} = 0$ 。下列说法正确的是（ AC ）



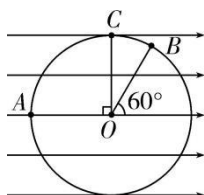
- A. 该电场的电场强度大小为 1 V/m
- B. 电场强度方向沿着BC方向，由B指向C

C. B点的电势比A点的电势低 8 V

D. 带电荷量为 $4 \times 10^{-6} \text{ C}$ 的正电荷由A点移到C点，电势能减少 $8 \times 10^{-6} \text{ J}$

[解析] 负电荷由 A 点移到 B 点的过程中，电势能增加 $1.2 \times 10^{-5} \text{ J}$ ，静电力做功 $W_{AB} = -1.2 \times 10^{-5} \text{ J}$ ，A、B 两点处的电势差 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{W_{AB}}{q} = 8 \text{ V}$ ，A 点的电势比 B 点的电势高 8 V，选项 C 正确；根据 $U_{BC} = \frac{W_{BC}}{q} = 0$ ，B、C 两点处电势相等，所以 BC 连线为等势线，电场强度方向沿 AC 方向，由 A 指向 C，选项 B 错误；根据 $U_{AB} = U_{AC} = 8 \text{ V}$ ， $AC = 8 \text{ m}$ ，联立得 $E = \frac{U_{AC}}{AC} = \frac{8}{8} \text{ V/m} = 1 \text{ V/m}$ ，选项 A 正确；正电荷由 A 点移到 C 点的过程中，静电力做正功， $W = q'U_{AC} = 4 \times 10^{-6} \times 8 \text{ J} = 3.2 \times 10^{-5} \text{ J}$ ，即电势能减少 $3.2 \times 10^{-5} \text{ J}$ ，选项 D 错误。

2. 如图所示为一个水平的匀强电场，在电场内某水平面上作一个半径为 10 cm 的圆，在圆周上取如图所示的 A、B、C 三点，已知 A、B 两点间的电势差为 1 350 V。（静电力常量 $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ ）



(1) 求匀强电场的电场强度大小；

[答案] 9 000 V/m

[解析] 由题图知 A、B 两点在匀强电场方向上的距离 $d = r + \frac{r}{2} = 0.15 \text{ m}$ ，所以匀强电场的场强大小 $E = \frac{U}{d} = 9\,000 \text{ V/m}$ 。

(2) 若在圆心 O 处放置电荷量为 $1 \times 10^{-8} \text{ C}$ 的正点电荷，求 C 点电场强度的大小。（结果保留三位有效数字）

[答案] $1.27 \times 10^4 \text{ N/C}$

[解析] 设正点电荷在 C 处产生的电场强度为 E_1 ，则

$$E_1 = \frac{kQ}{r^2} = 9 \times 10^3 \text{ N/C}, \text{ 方向由 } O \text{ 指向 } C.$$

根据平行四边形定则，C 处合电场的场强为 $E' = \sqrt{E_1^2 + E^2} \approx 1.27 \times 10^4 \text{ N/C}$ 。

任务学习二 利用公式 $E = U/d$ 定性分析非匀强电场

新知梳理

$E = \frac{U}{d}$ 只适用于匀强电场的定量计算，在非匀强电场中，不能进行定量计算，但可以定性地分析有关问题。

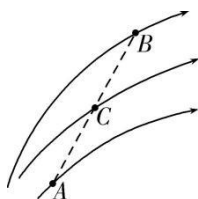
(1) 在非匀强电场中， $U = Ed$ 中的 E 可理解为某段距离内电场强度的平均值。

(2) 当电势差 U 一定时，场强 E 越大，沿场强方向的距离 d 越小，即场强越大，等差等势面越密。

(3) 沿电场方向距离相等的两点间： E 越大， U 越大； E 越小， U 越小。

典例精讲

例2 如图所示，在某电场中画出了三条电场线， C 点是 AB 连线的中点。已知 A 点的电势 $\varphi_A = 30 \text{ V}$ ， B 点的电势 $\varphi_B = -10 \text{ V}$ ，则 C 点的电势（ C ）



A. $\varphi_C = 10 \text{ V}$

B. $\varphi_C > 10 \text{ V}$

C. $\varphi_C < 10 \text{ V}$

D. 上述选项都不正确

[解析]由图看出， AC 段电场线比 BC 段电场线密， AC 段电场强度大，根据公式 $U = Ed$ 可知， A 、 C 间电势差 U_{AC} 大于 C 、 B 间电势差 U_{CB} ，即 $\varphi_A - \varphi_C > \varphi_C - \varphi_B$ ，得到 $\varphi_C < \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} = 10 \text{ V}$ ，选项C正确。

任务学习三 电势差与电场强度关系的三个推论

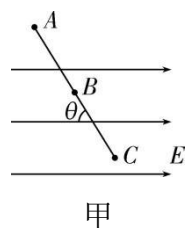
新知梳理

“等分法”及其应用原理

在匀强电场中，沿任意一个方向电势降落都是均匀的，故在同一直线上相同间距的两点间的电势差相等，如果把某两点间的距离等分为 n 段，则每段线段两端点的电势差等于原电势差的 $\frac{1}{n}$ ，像这样采用等分间距求电势的方法叫作“等分法”。

推论1：匀强电场中，在同一条直线上，距离相等的任意两点间的电势差相等。

推导过程：如图甲所示，在匀强电场中的一条直线上， $AB = BC$ 。设 $AB = BC = l$ ，该直线与电场线方向的夹角为 θ ，则 $U_{AB} = El \cos \theta$ ， $U_{BC} = El \cos \theta$ ，故 $U_{AB} = U_{BC}$ 。

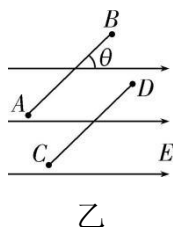


推论 2: 匀强电场中的任意一线段 AC 的中点 B 的电势 $\varphi_B = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2}$ 。

推导过程: 根据推论 1 知 $U_{AB} = U_{BC}$, 故 $\varphi_A - \varphi_B = \varphi_B - \varphi_C$, 可得 $\varphi_B = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2}$ 。

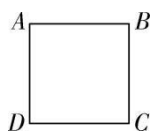
推论 3: 匀强电场中若两线段 $AB \parallel CD$, 且 $AB = CD$, 则 $U_{AB} = U_{CD}$ (或 $\varphi_A - \varphi_B = \varphi_C - \varphi_D$)。

推导过程: 如图乙所示, 匀强电场中 $AB = CD$ 且 $AB \parallel CD$ 。设 $AB = CD = l$, AB 与电场线方向的夹角为 θ , 则 $U_{AB} = El \cos \theta$, $U_{CD} = El \cos \theta$, 故 $U_{AB} = U_{CD}$ 。



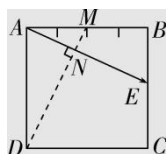
典例精讲

例 3 多选题如图所示, 边长为 2 m 的正方形 $ABCD$ 放在一匀强电场中, 匀强电场方向与正方形 $ABCD$ 所在平面平行 (图中未画出)。已知 A 、 B 、 C 三点的电势分别为 3 V 、 -1 V 、 -3 V , 则下列说法中正确的是 (AC)



- A. D 点的电势为 1 V
- B. 场强方向由 A 指向 C
- C. 该匀强电场的场强大小 $E = \sqrt{5}\text{ V/m}$
- D. 该匀强电场的场强大小 $E = \frac{3\sqrt{2}}{2}\text{ V/m}$

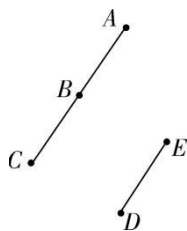
[解析] $AB \parallel DC$ 且 $AB = DC$, 有 $\varphi_A - \varphi_B = \varphi_D - \varphi_C$, 可得 $\varphi_D = 1\text{ V}$, 故 A 正确; 在 AB 上取一点 M , 使 $AM = MB$, 则 $\varphi_M = 1\text{ V}$, DM 是等势线, 由于电场线跟等势线垂直,



过 A 点作 DM 的垂线 AN ，就是电场线，如图，方向指向电势降低方向，故 B 错误；由几何知识可得 $\frac{AD}{DM} = \frac{AN}{AM}$ ， $\frac{2\text{ m}}{\sqrt{2^2+1^2}\text{ m}} = \frac{AN}{1\text{ m}}$ ， $AN = \frac{2\sqrt{5}}{5}\text{ m}$ ，可得该匀强电场的场强大小 $E = \frac{U}{d} = \frac{\varphi_A - \varphi_N}{AN} = \frac{3-1}{\frac{2\sqrt{5}}{5}}\text{ V/m} = \sqrt{5}\text{ V/m}$ ，故 C 正确，D 错误。

迁移应用

3. [2023 湖南岳阳期末]多选题如图所示的平面内有 A、B、C、D、E 五点，平面内存在匀强电场，电场方向与该平面平行，其中 AC 平行于 DE，B 点为 AC 的中点， $AB = DE$ ，A 点的电势 $\varphi_A = 10\text{ V}$ ，C 点的电势 $\varphi_C = 4\text{ V}$ ，E 点的电势 $\varphi_E = 13\text{ V}$ ，电子的电荷量为 $-e$ ，下列说法正确的是（ BD ）



- A. $\varphi_B = 6\text{ V}$
- B. $\varphi_D = 10\text{ V}$
- C. 电子在 D 点的电势能 $E_{pD} = 10\text{ eV}$
- D. 将电子从 B 点移到 D 点，静电力做的功为 3 eV

[解析]在匀强电场中沿相同的方向距离相等的两点之间的电势差相等，可知 B 点的电势 $\varphi_B = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2} = \frac{10+4}{2}\text{ V} = 7\text{ V}$ ，A 错误；根据 $U_{ED} = U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 10\text{ V} - 7\text{ V} = 3\text{ V}$ ，则 $\varphi_D = \varphi_E - U_{ED} = 13\text{ V} - 3\text{ V} = 10\text{ V}$ ，B 正确；电子带负电，则电子在 D 点的电势能为 -10 eV ，C 错误；D 与 B 之间的电势差为 3 V ，D 点的电势高，则将电子从 B 点移到 D 点，静电力做的功为 3 eV ，D 正确。

专题课 电场能的性质和图像问题

题型一 电场中的功能关系

1. 静电力做功的四种求法

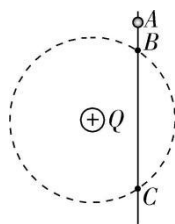
四种求法	表达式	注意问题

功的定义	$W = Fd = qEd$	(1) 适用于匀强电场 (2) d 表示沿电场方向的距离
功能关系	$W_{AB} = E_{pA} - E_{pB} = -\Delta E_p$	(1) 既适用于匀强电场，也适用于非匀强电场
电势差法	$W_{AB} = qU_{AB}$	(2) 既适用于只受静电力的情况，也适用于受多种力的情况
动能定理	$W_{\text{静电力}} + W_{\text{其他力}} = \Delta E_k$	

2. 只有静电力做功时，动能和电势能之间相互转化，二者总和不变，即 $\Delta E_k = -\Delta E_p$ 。

3. 只有重力和静电力做功时，重力势能、电势能和动能相互转化，三者之和保持不变。

例 1 如图所示，光滑绝缘的细杆竖直放置，它与以正电荷 Q 为圆心的圆交于 B 、 C 两点，质量为 m 、带电荷量为 $-q$ 的有孔小球从杆上 A 点无初速度下滑，已知 $q \ll Q$ ， $AB = h$ ，小球滑到 B 点时的速度大小为 $\sqrt{3gh}$ ，其中 g 为重力加速度，求：



(1) 小球由 A 到 B 的过程中静电力做的功；

[答案] $\frac{1}{2}mgh$

[解析] 因为杆是光滑的，所以小球从 A 到 B 的过程中只有两个力做功，即静电力做的功 W_{AB} 和重力做的功 mgh ，由动能定理得 $W_{AB} + mgh = \frac{1}{2}mv_B^2$ ，则 $W_{AB} = \frac{1}{2}m \cdot 3gh - mgh = \frac{1}{2}mgh$ 。

(2) A 、 C 两点间的电势差 U_{AC} 。

[答案] $-\frac{mgh}{2q}$

[解析]因为 B 、 C 在同一等势面上,所以 $\varphi_B = \varphi_C$

$$\text{即 } U_{AC} = U_{AB} = \frac{W_{AB}}{-q} = -\frac{mgh}{2q}。$$

迁移应用

1. 质量为 m 的带电小球竖直向下射入匀强电场后,以方向竖直向上、大小为 $2g$ 的加速度向下运动,重力加速度为 g ,在小球下落 h 的过程中 (**D**)

A. 小球的重力势能减少了 $2mgh$

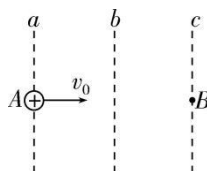
B. 小球的动能增加了 $2mgh$

C. 静电力做功 $-2mgh$

D. 小球的电势能增加了 $3mgh$

[解析]带电小球受到向上的静电力和向下的重力,据牛顿第二定律 $F_{\text{合}} = F_{\text{电}} - mg = 2mg$,得 $F_{\text{电}} = 3mg$,在下落过程中静电力做功 $W_{\text{电}} = -3mgh$,重力做功 $W_G = mgh$,总功 $W = W_{\text{电}} + W_G = -2mgh$,根据做功与势能变化关系可判断:小球重力势能减少了 mgh ,电势能增加了 $3mgh$,根据动能定理可知,小球的动能减少了 $2mgh$,故选D。

2. 如图所示, a 、 b 、 c 三条虚线为电场中的等势面,等势面 b 的电势为零,且相邻两个等势面间的电势差相等。一个带正电的粒子(粒子重力不计)在 A 点时的动能为 10 J ,在静电力作用下从 A 运动到 B 时速度为零。当这个粒子的动能为 7.5 J 时,其电势能为 (**D**)



A. 12.5 J

B. 2.5 J

C. 0

D. -2.5 J

[解析]由动能定理得 $W_{AB} = 0 - E_{k0} = -10\text{ J}$,相邻两个等势面间的电势差相等, $U_{ab} = U_{bc}$,所以 $qU_{ab} = qU_{bc}$,即 $W_{ab} = W_{bc} = \frac{1}{2}W_{AB} = -5\text{ J}$,设粒子在等势面 b 上的动能为 E_{kb} ,则 $W_{bc} = E_{kc} - E_{kb}$,所以 $E_{kb} = 5\text{ J}$,所以粒子在 b 处的总能量 $E_b = E_{kb} = 5\text{ J}$,从而可以知道粒子在电场中的总能量 $E = 5\text{ J}$,当这个粒子的动能为 7.5 J 时, $E_p = E - E_k = (5 - 7.5)\text{ J} = -2.5\text{ J}$,选项D正确。

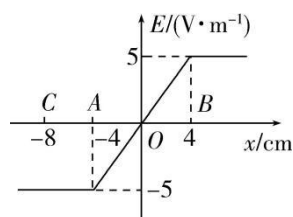
题型二 静电场中几种常见图像的特点及规律

1. $E-x$ 图像

(1) 意义: $E-x$ 图像是描述电场沿 x 轴方向(电场线必须为直线)的电场强度 E 随位置 x 变化的规律。

(2) 应用：①确定各位置电场强度大小、方向及电势变化。 $E > 0$ 表示 E 沿正方向，即沿 x 轴正方向，电势降低； $E < 0$ 表示 E 沿负方向，即沿 x 轴负方向，电势降低。②求电势差 U 。根据 $U = Ed = E\Delta x$ ， $E - x$ 图线与 x 轴所围图形面积表示电势差 U 。③判断静电力、加速度、静电力做功、电势能如何变化。

例 2 [2023 河北衡水月考]如图所示，该图像为 x 轴上各点的电场强度与各点位置坐标关系图像。取 x 轴正方向为电场强度的正方向，无穷远电势为零。 A 、 B 、 C 三点均在 x 轴上，坐标如图。由 C 点静止释放一个负点电荷，下列判断正确的是 (B)



- A. 该点电荷一直沿 x 轴正方向运动 B. 该点电荷在坐标原点的电势能最小
C. A 、 B 两点间电势差为 -0.2 V D. x 轴上坐标原点电势最低

[解析]由电场强度与各点位置坐标关系图像可知，由 C 点静止释放一个负点电荷，该点电荷将围绕 x 轴上 O 点来回运动， A 错误；该点电荷从 C 点到 O 点的过程中，静电力做正功，电势能减小，从 O 点再向右运动的过程中，静电力做负功，电势能增加，故在坐标原点的电势能最小， B 正确；由 $E - x$ 图像与横轴所围的面积表示电势差，可得 $U_{AB} = 0$ ， C 错误；由于无穷远电势为零，由图像可知， x 轴上坐标原点电势最高， D 错误。

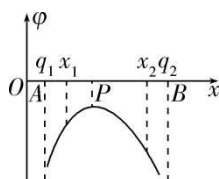
2. $\varphi - x$ 图像

(1) 意义： $\varphi - x$ 图像是描述电场沿 x 轴方向（电场线必须为直线）的电势随位置 x 变化的规律。

(2) 应用：①确定各位置电势高低，并确定电场方向，电势降低方向为电场方向，电势升高方向为电场反方向。②由于电场强度 $E = \frac{U_{AB}}{d} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = k$ ，所以斜率 k 的绝对值等于 E 的大小， k 增大， E 增大， $k = 0$ ，则 $E = 0$ ， k 的正负表示 E 的方向。③根据 $E_p = q\varphi$ ，判断电荷移动时电势能变化以及静电力做功。

例 3 [2024 辽宁大连高一期末]两电荷量分别为 q_1 和 q_2 的点电荷固定在 x 轴上的 A 、 B 两点， x 轴上各点电势 φ 随坐标 x 变化的关系如图所示，取无穷远处电势为 0 。

P 点为图中最高点，且 $AP < PB$ ， x_1 位置到 A 的距离等于 x_2 位置到 B 的距离。由图像可知（ C ）



- A. 由 A 到 B 电势先降低后升高
- B. 由 A 到 B 场强先增大后减小
- C. 两点电荷均带负电，且 $q_1 < q_2$
- D. 若一电子在 x_1 处由静止释放，电子能到达 x_2 位置再返回

[解析]由图可知由 A 到 B 电势先升高后降低，故 A 错误； $\varphi - x$ 图像的切线斜率绝对值表示电场强度的大小，由图像可知，从 A 到 B 过程中，电场强度的大小先减小后增大，故 B 错误；由图像可知，两电荷之间的电势均为负值，可知两电荷均为负电荷，根据 $\varphi - x$ 图像的切线斜率表示电场强度，可知最高点 P 的场强为 0 ，则两电荷在 P 点的场强大小相等，方向相反，由于 $AP < PB$ ，则电荷量 $q_1 < q_2$ ，故 C 正确；电子仅在静电力作用下运动，电势能和动能之和守恒，由图可知 x_1 处的电势高于 x_2 处的电势，若一电子在 x_1 处由静止释放，电子不能到达 x_2 位置，故 D 错误。

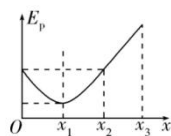
3. $E_p - x$ 图像

（1）意义： $E_p - x$ 是描述电场中某点电荷沿 x 轴方向（电场线必须为直线）的电势能 E_p 随位置 x 变化的规律。

（2）应用：①确定电势能 E_p 大小和 E_p 变化，由 $E_p = q\varphi$ 判断 φ 如何变化，如果为正电荷， E_p 越大，电势 φ 越高；如果为负电荷， E_p 越大，电势 φ 越低。②判断静电力大小和方向，从而判断电场强度大小和方向， $E_p - x$ 图线的斜率 $k = \frac{\Delta E_p}{\Delta x} = -\frac{W}{d} = -F$ ，斜率的绝对值等于静电力 F 大小，当 $k = 0$ 时，有 $F = 0$ ，故 $E = 0$ ，斜率的正、负表示静电力 F 方向的负、正， $k > 0$ 表示静电力沿 x 轴负方向， $k < 0$ 表示静电力沿 x 轴正方向。

例4 [2024 江苏武进高级中学高一期末]一带负电的粒子只在静电力作用下沿 x 轴正向运动，其电势能 E_p 随位移 x 变化的关系如图所示，其中 $0 \sim x_2$ 段是关于

直线 $x = x_1$ 对称的曲线， $x_2 \sim x_3$ 段是直线，其中 $x_3 - x_2 = x_2 - x_1$ ，则下列说法正确的是（ B ）



- A. $0 \sim x_1$ 段的电场强度逐渐增大
- B. x_1 、 x_2 、 x_3 处电势 φ_1 、 φ_2 、 φ_3 的大小关系为 $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$
- C. 粒子在 $x_1 \sim x_2$ 段做匀变速运动， $x_2 \sim x_3$ 段做匀速直线运动
- D. x_1 与 x_2 两点间的电势差 U_{12} 等于 x_2 与 x_3 两点间的电势差 U_{23}

[解析] $E_p - x$ 图像的斜率绝对值表示静电力大小， $0 \sim x_1$ 段图像的斜率绝对值逐渐减小，粒子受到的静电力逐渐减小，故电场强度逐渐减小，故 A 错误；根据电势能与电势的关系 $E_p = q\varphi$ ，因为 $q < 0$ ，所以有 $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$ ，故 B 正确；由图看出 $x_1 \sim x_2$ 段图像切线的斜率绝对值不断增大，粒子所受的静电力增大，做非匀变速运动， $x_2 \sim x_3$ 段斜率不变，粒子所受的静电力不变，做匀变速直线运动，故 C 错误； x_1 、 x_2 两点间距与 x_2 、 x_3 两点间距相等，电场强度不一样，由 $U = Ed$ 定性分析可知， x_1 、 x_2 两点间的电势差 U_{12} 与 x_2 、 x_3 两点间的电势差 U_{23} 不相同，故 D 错误。

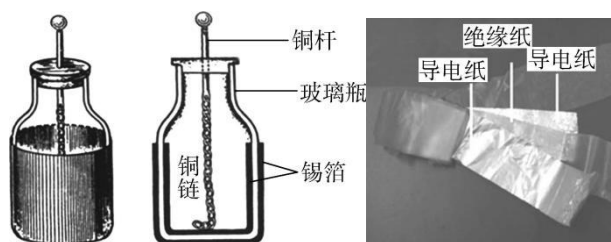
第 4 节 电容器的电容

第 1 课时 电容器的电容

- 课时学习素养目标：1.知道什么是电容器及电容器的主要构造。（物理观念）
- 2.理解电容的概念及其定义式。（物理观念）
- 3.观察电容器充、放电现象，了解其能量转化情况。（科学探究）

任务学习一 电容器 电容

如图所示是两种储存电荷的“容器”——电容器。莱顿瓶是一个内、外壁分别贴有锡箔的玻璃瓶。纸质电容器是由两层导电纸和隔开它们的绝缘纸组成。它们的构造有什么共同点？



[答案]都是由两个彼此绝缘又相互靠近的导体组成。

新知梳理

1. 电容器

(1) 任何两个彼此绝缘又相距很近的导体，都可以看成一个电容器。

(2) 平行板电容器：两个相距很近的平行金属板中间夹上一层绝缘物质（电介质）组成的电容器。

2. 电容

(1) 定义：电容器所带的电荷量 Q 与电容器两极板之间的电势差 U 之比。

(2) 定义式： $C = \frac{Q}{U}$ 。

(3) 单位：在国际单位制中，电容的单位是法拉，简称法，符号是F。实际中常用的单位还有微法(μF)和皮法(pF)，它们与法拉的关系是 $1\ \mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$ ， $1\ \text{pF} = 10^{-12}\text{F}$ 。

(4) 击穿电压和额定电压

①击穿电压：电容器电介质不被击穿的极限电压。

②额定电压：电容器外壳上标的工作电压。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 电容器的电容跟它的带电荷量成正比。 ($\times$)

[解析]电容器的电容由电容器本身决定，与带电荷量多少无关。

(2) 对于确定的电容器，它所充的电荷量跟它两极板间电压的比值保持不变。

($\checkmark$)

(3) 电容越大，电容器容纳的电荷量越多。 ($\times$)

[解析]电容越大，电容器容纳的电荷量不一定越多，还与两板间电压有关。

(4) 同一个电容器的额定电压和击穿电压相等。 ($\times$)

[解析]同一个电容器的击穿电压大于额定电压。

2. 电容器两个极板上带有等量异种电荷，那么电容器所带的电荷量是指什么？

[答案]每个极板所带电荷量的绝对值。

典例精讲

例 1 [2024 辽宁高一期末]如图所示为某次心脏除颤器的模拟治疗，该心脏除颤器的电容器充电后的电压为 $4.0\ \text{kV}$ ，电容器电容为 $15\ \mu\text{F}$ ，若电容器在一定时间

内放电至两极板间电势差为 0，在此过程中，共释放了 0.06 C 的电荷，则下列说法正确的是（ D ）



- A. 电容器在充电后的电容为 $15\ \mu\text{F}$ ，放电后的电容为 0
- B. 电容器在放电过程中产生的电流大小是恒定不变的
- C. 电容器充电后，单个极板所携带的电荷量为 0.03 C
- D. 电容器两极板之间电势差与电荷量成正比

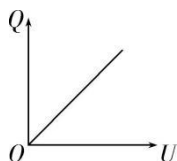
[解析] 电容器在充电后的电容为 $15\ \mu\text{F}$ ，放电后的电容仍为 $15\ \mu\text{F}$ ，故 A 错误；电容器在放电过程中，随着两极板间电势差逐渐减小为 0，产生的电流大小逐渐减小为 0，故 B 错误；电容器在放电过程中，共释放了 0.06 C 的电荷，则电容器充电后，单个极板所携带的电荷量为 0.06 C，故 C 错误；根据 $C = \frac{Q}{U}$ 可得 $U = \frac{1}{C} \cdot Q$ ，可知电容器两极板之间电势差与电荷量成正比，故 D 正确。

总结归纳

1. 公式 $C = \frac{Q}{U}$ 的理解

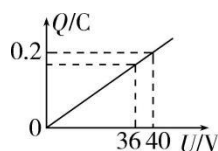
$C = \frac{Q}{U}$ 是电容的定义式，对于某电容器， $Q \propto U$ ，但 $\frac{Q}{U} = C$ 不变。

2. 通过 $Q - U$ 图像来理解 $C = \frac{Q}{U}$ 。如图所示，在 $Q - U$ 图像中，直线的斜率表示电容，其中 Q 为一个极板上所带电荷量的绝对值， U 为两极板间的电势差，可以看出，电容器的电容也可以表示为 $C = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$ ，即电容器的电容在数值上等于两极板间的电压增加（或减少）1 V 所需要增加（或减少）的电荷量。



迁移应用

1. 某一电容器中所带电荷量和两端电压之间的关系图线如图所示，如果该电容器两端的电压从 40 V 降低到 36 V，电容器的电荷量减少了（ A ）



- A. 0.02 C B. 0.08 C C. 0.16 C D. 0.20 C

[解析]根据 $Q-U$ 图像的斜率表示电容器的电容, 有 $C = \frac{Q}{U} = \frac{0.2}{40} \text{ F} = \frac{1}{200} \text{ F}$, 则该电容器两端的电压从 40 V 降低到 36 V, 电荷量的减少量 $\Delta Q = C \cdot \Delta U = \frac{1}{200} \times (40 - 36) \text{ C} = 0.02 \text{ C}$, 故 A 正确, B、C、D 错误。

任务学习二 实验：观察电容器的充、放电现象

新知梳理

1. 实验目的

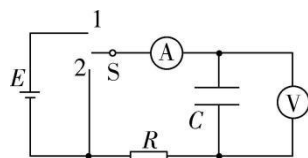
- (1) 理解电容器的储能特性及其在电路中的能量转化规律。
- (2) 知道电容器充、放电过程中, 电路中的电流和电容器两端电压的变化规律。

2. 实验器材

直流电源、单刀双掷开关、平行板电容器、电流表、电压表、电阻。

3. 实验步骤

- (1) 按图连接好电路。



- (2) 把单刀双掷开关 S 打在上面, 开关接 1 时, 观察电容器的充电现象, 并将结果记录在表格中。
- (3) 将单刀双掷开关 S 打在下面, 开关接 2 时, 观察电容器的放电现象, 并将结果记录在表格中。
- (4) 在表格中记录好实验结果, 关闭电源。

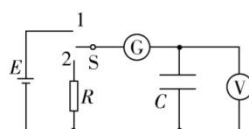
实验项目	实验现象	
电容器充电	电流表	电流表的读数由大到小最后为零
	电压表	电压表的读数由小到大, 逐渐稳定在某一数值
电容器放电	电流表	电流表的读数由大到小最后为零
	电压表	电压表的读数由大到小最后为零

4.注意事项

- (1) 电流表要选用小量程的灵敏电流计。
- (2) 要选择大容量的电容器。
- (3) 实验要在干燥的环境中进行。
- (4) 在做放电实验时，在电路中串联一个电阻，以免烧坏电流表。
- (5) 数据处理时要注意电流随时间变化的 $i-t$ 图像中图线与时间轴围成的面积表示充电或放电的电荷量。

典例精讲

例 2 [2024 河南高二期中] “观察电容器的充、放电现象” 的实验电路如图甲所示， R 为定值电阻， C 为电容器， S 为单刀双掷开关。

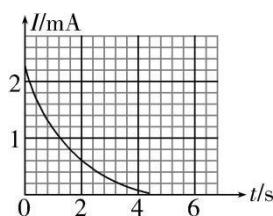


甲

- (1) 当开关 S 接 1 时，电容器进行的是 充电 (填“充电”或“放电”) 过程。该过程中，可以看到电压表的示数迅速增大，随后逐渐 稳定在某一数值 (填“稳定在某一数值”或“变为零”)。

[解析] 将开关 S 与 1 端闭合，电源给电容器充电。电容器在充电过程中，电压表的示数迅速增大，当电容器所容纳的电荷量达到最大值后，充电过程结束，随着电容器所带电荷量趋于稳定，电压表示数也将稳定在某一数值。

- (2) 给充电完毕的电容器放电，记录电流随时间的变化情况如图乙所示，图像与时间轴所围面积等于充电完成后电容器上的 电荷量 (填“电压”或“电荷量”)。

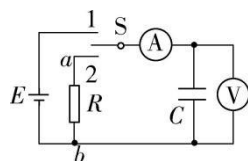


乙

[解析] 在 $I-t$ 图像中，图线与横轴所围面积等于充电完成后电容器上的电荷量。

迁移应用

2. [2023 山东烟台期末]由直流电源、电阻、电容器、电流表、电压表以及单刀双掷开关，组装成如图所示的实验电路。



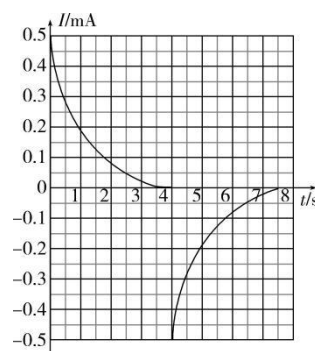
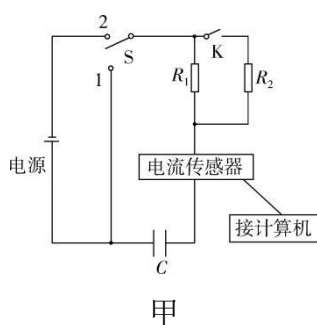
(1) 把开关 S 接 1，此时给电容器充电，电容器的上极板带上 正 (选填“正”或“负”) 电荷，在该过程中，可以看到电流表指针会偏转，电压表示数逐渐 变大 (选填“变大”“变小”或“不变”)，当电压表示数稳定时，极板上的电荷量稳定，充电结束。

[解析]把开关 S 接 1，此时给电容器充电，电容器的上极板带上正电荷。在充电过程中，根据 $C = \frac{Q}{U}$ 可知随着电荷量的增加，电压表示数逐渐变大。

(2) 把开关 S 接 2，此时电容器放电。在放电过程中可以看到电压表的示数逐渐减小，直至变为零。在这一过程中，极板间的电场强度 变小 (选填“变大”“变小”或“不变”)，定值电阻 R 中有 a 经 R 流向 b (选填“a 经 R 流向 b”或“b 经 R 流向 a”) 方向的电流。

[解析]在放电过程中，极板上电荷量减小，则极板间的电场强度变小。电容器放电过程中，电流从正极板流向负极板，定值电阻 R 中有 a 经 R 流向 b 方向的电流。

3. [2024 山东青岛高一期末]某学校兴趣小组利用电流传感器观察电容器的充、放电现象，设计电路如图甲所示。



(1) K 断开，将开关 S 与端点 2 连接时电源短时间内对电容器完成充电，充电后电容器右极板带 负 电 (选填“正”或“负”)；然后将开关 S 连接端

点 1，电容器通过电阻放电，计算机记录下电流传感器中电流随时间的变化关系。如图乙是计算机输出的电容器充、放电过程电流随时间变化的 $I-t$ 图像；

[解析]由图可知开关 S 与端点 2 连接时，电容器右极板与电源负极连接，充电后电容器右极板带负电。

(2) 根据 $I-t$ 图像估算电容器在充电结束时储存的电荷量为 4.8×10^{-4} C

(结果保留两位有效数字)；

[解析] $I-t$ 图线与横轴所围的面积表示电容器存储的电荷量，一小格的面积为 $\Delta Q = 0.05 \times 10^{-3} \times 0.5 \text{ C} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ C}$ ，总共约为 19 格，故电容器在储存的电荷量为 $Q = 19 \times \Delta Q \approx 4.8 \times 10^{-4} \text{ C}$ 。

(3) 已知直流电源的电压为 6 V，则电容器的电容为 8×10^{-5} F (结果保留一位有效数字)；

[解析]已知直流电源的电压为 6 V，则电容器的电容为 $C = \frac{Q}{U} \approx 8 \times 10^{-5} \text{ F}$ 。

(4) 如果不改变电路的其他参数，闭合开关 K ，重复上述实验，则充电时 $I-t$ 图线与横轴所围的面积将 不变 (选填“变大”“不变”或“变小”)，充电时间将 变短 (选填“变长”“不变”或“变短”)。

[解析]由于电容器存储的电荷量不变，如果不改变电路的其他参数，闭合开关 K ，重复上述实验，则充电时 $I-t$ 图线与横轴所围成的面积将不变。闭合开关 K ，电容器充电电流变大，充电时间将变短。

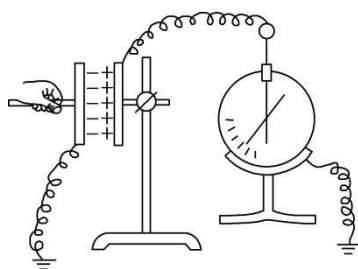
第 2 课时 平行板电容器的电容

课时学习素养目标：1.了解影响平行板电容器电容大小的因素，并能进行相关分析与计算。(科学思维)

2.掌握平行板电容器两类动态变化问题的分析方法。(科学思维)

任务学习一 平行板电容器的电容 常用电容器

利用如图所示的实验装置探究影响平行板电容器电容的决定因素，两极板充完电后与电源断开，此时两极板上的电荷量 Q 不变，实验时发现在两极板间距 d 不变，改变两极板正对面积 S 时，静电计的指针偏角发生变化；在 S 不变，改变 d 时，指针偏角也发生变化；保持 d 、 S 都不变，在两极板间插入电介质时，指针偏角也发生变化，说明平行板电容器的电容与哪些因素有关？(静电计是测量两极板间电压的仪器)



[答案]两极板的正对面积、两极板间距、两极板之间的电介质。

新知梳理

1. 平行板电容器的电容

(1) 平行板电容器电容的决定因素：电容 C 与两极板间电介质的相对介电常数 ϵ_r 成正比，跟极板的正对面积 S 成正比，跟极板间的距离 d 成反比。

(2) 平行板电容器电容的决定式： $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ ， ϵ_r 为电介质的相对介电常数， k 为静电力常量。当两极板间是真空时， $C = \frac{S}{4\pi k d}$ 。

2. 常用电容器

(1) 固定电容器：聚苯乙烯电容器和电解电容器。

(2) 可变电容器：通过改变两组铝片的正对面积来改变电容的电容器。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 将平行板电容器两极板的间距变大，电容将增大。 (×)

[解析]平行板电容器的电容与两极板间距成反比。

(2) 将平行板电容器两极板平行错开，使正对面积减小，电容将减小。

(√)

(3) 在平行板电容器极板间插入电介质，电容将增大。 (√)

(4) 公式 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可用来计算任何电容器的电容。 (×)

[解析]它只能用来计算平行板电容器的电容。

2. 公式 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 与 $C = \frac{Q}{U}$ 有什么区别？

[答案] $C = \frac{Q}{U}$ 是电容的定义式，适用于任何电容器，对于某电容器， $Q \propto U$ ，但 $\frac{Q}{U} =$

C 不变。 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 是电容的决定式，只适用于平行板电容器，对于平行板电容器，

$C \propto \epsilon_r$ ， $C \propto S$ ， $C \propto \frac{1}{d}$ ，反映了影响平行板电容器电容的因素。

典例精讲

例 1 关于平行板电容器的电容，下列说法正确的是（ B ）

- A. 与两极板的正对面积 S 有关， S 越大， C 越小
- B. 与两极板的间距 d 有关， d 越大， C 越小
- C. 与两极板上所加电压 U 有关， U 越大， C 越大
- D. 与两极板上所带电荷量 Q 有关， Q 越小， C 越大

[解析]由平行板电容器电容的决定式可判断 B 正确。

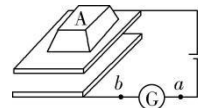
例 2 [2024 湖南长沙长郡中学高一期末]如图甲所示，计算机键盘为电容式传感器，每个键下面由相互平行、间距为 d 的活动金属片和固定金属片组成，两金属片间有空气间隙，两金属片组成一个平行板电容器，如图乙所示。其内部电路如图丙所示，已知只有当该键的电容改变量大于或等于原电容的 50%时，传感器才有感应，则下列说法正确的是（ D ）



甲



乙



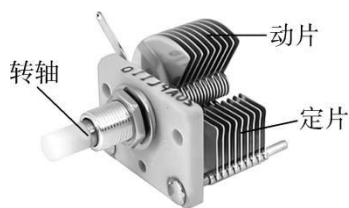
丙

- A. 按键的过程中，电容器的电容减小
- B. 按键的过程中，图丙中电流方向从 a 流向 b
- C. 欲使传感器有感应，按键需至少按下 $\frac{d}{2}$
- D. 欲使传感器有感应，按键需至少按下 $\frac{1}{3}d$

[解析]根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 得，按键过程中， d 减小， C 增大，故 A 错误；因 C 增大， U 不变，根据 $Q = CU$ 得 Q 增大，电容器充电，电流方向从 b 流向 a ，故 B 错误；按键过程中， d 减小，电容 C 增大，当电容至少增大为原来的 $\frac{3}{2}$ 时，传感器才有感应，根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 得，板间距离至少为 $\frac{2}{3}d$ ，所以按键需至少按下 $\frac{1}{3}d$ ，故 C 错误，D 正确。

迁移应用

1. [2024 湖北黄冈高一月考]多选题一种可调电容器的结构图如图所示，关于该可调电容器，下列说法正确的是（ BD ）



- A. 该电容器是通过改变极板间的距离来改变电容的
- B. 动片完全旋出时电容最小，完全旋入时电容最大
- C. 可调电容器的定片必须接电源的正极，动片必须接电源的负极
- D. 为了增大该电容器的电容，可在动片与定片的间隙充入某种电介质

[解析]由图可知，可调电容器是通过改变极板间的正对面积改变电容的，根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知当动片完全旋出时，正对面积最小，电容最小，完全旋入时，正对面积最大，电容最大，故 A 错误，B 正确；可调电容器的定片和动片均为金属片，没有规定正负极的接法，故 C 错误；根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知为了增大该电容器的电容，可在动片与定片的间隙充入某种电介质，故 D 正确。

任务学习二 平行板电容器的两类动态问题

新知梳理

1. 平行板电容器动态问题的分析方法

抓住不变量，分析变化量，紧抓三个公式：

$$C = \frac{Q}{U}, E = \frac{U}{d} \text{ 和 } C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}.$$

2. 平行板电容器的两类典型问题

(1) 平行板电容器始终连接在电源两端：电势差 U 不变。

由 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d} \propto \frac{\epsilon_r S}{d}$ 可知， C 随 d 、 S 、 ϵ_r 的变化而变化。

由 $Q = CU = U \cdot \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知，当 U 不变时， Q 也随 d 、 S 、 ϵ_r 的变化而变化。

由 $E = \frac{U}{d} \propto \frac{1}{d}$ 可知，当 U 不变时， E 随 d 的变化而变化。

(2) 平行板电容器充电后，切断与电源的连接：电荷量 Q 保持不变。

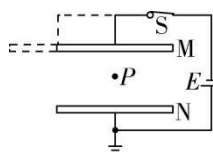
由 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d} \propto \frac{\epsilon_r S}{d}$ 可知， C 随 d 、 S 、 ϵ_r 的变化而变化。

由 $U = \frac{Q}{C} = \frac{4\pi k d Q}{\epsilon_r S} \propto \frac{d}{\epsilon_r S}$ 可知， U 也随 d 、 S 、 ϵ_r 的变化而变化。

由 $E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S} \propto \frac{1}{\epsilon_r S}$ 可知， E 随 S 、 ϵ_r 的变化而变化，并且与 d 无关。

典例精讲

例 3 [2024 辽宁高一期末]如图所示，一平行板电容器两极板水平正对，正极板 N 接地，开关 S 闭合，一带电油滴静止在两极板间的 P 点，若保持 N 板不动，而将 M 板向左移动少许，则下列说法正确的是（ A ）

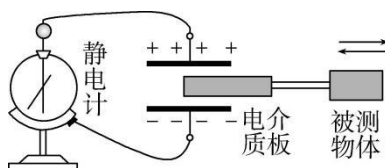


- A. 电容器的电容减小
- B. P 点的电势升高
- C. P 点的电场强度增大
- D. 油滴竖直向下运动

[解析]将 M 板向左移动，两极板正对面积 S 减小，由 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知，电容减小，A 正确；电路闭合，电容器两极板间电压保持不变，由题意可知极板间距不变，由 $E = \frac{U}{d}$ 可知，P 点的电场强度不变，C 错误；下极板接地电势为零，因为 P 点的场强不变，P 与下极板间距离不变，P 点电势不变，B 错误；因为 P 点的电场强度不变，故油滴受到的静电力不变，油滴仍然静止，D 错误。

迁移应用

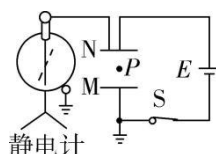
2. [2023 山东菏泽期末]如图为某一机器人上的电容式位移传感器工作时的简化模型图。当被测物体在左右方向上发生位移时，电介质板随之在电容器两极板之间移动，连接电容器的静电计会显示电容器两端电压的变化，进而能测出电容的变化，最后就能探测到物体位移的变化。保持电容器带电荷量不变，若静电计上的指针偏角为 θ ，则被测物体（ A ）



- A. 向右移动时， θ 增大
- B. 向左移动时， θ 增大
- C. 向右移动时， θ 减小
- D. 向左移动时， θ 不变

[解析]由 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知，当被测物体带动电介质板向右移动时，导致两极板间电介质的相对介电常数减小，则电容减小，根据 $Q = CU$ 可知，电荷量不变， U 增大，则 θ 变大，故 A 正确，C 错误；由 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知，当被测物体带动电介质板向左移动时，导致两极板间电介质的相对介电常数增大，则电容增大，根据 $Q = CU$ 可知，电荷量不变， U 减小，则 θ 变小，故 B、D 错误。

3. [2024 湖北十堰高一期末]多选题在如图所示的电路中，开关 S 闭合后，一带电油滴恰能静止于一水平固定的平行板电容器中的 P 点。下列说法正确的是 (AD)



- A. 油滴带负电荷
- B. 仅将极板 M 缓慢下移，油滴将向上运动
- C. 仅将极板 M 缓慢下移，静电计指针的张角变小
- D. S 断开后，仅将极板 M 缓慢下移，油滴静止不动

[解析]电容器上极板带正电，可知油滴带负电荷，选项 A 正确；仅将极板 M 缓慢下移，则板间距增加，根据 $E = \frac{U}{d}$ 可知，场强减小，静电力减小，则油滴将向下运动，选项 B 错误；仅将极板 M 缓慢下移，电容器两极板间电势差不变，则静电计指针的张角不变，选项 C 错误；S 断开后，仅将极板 M 缓慢下移，两极板带电荷量 Q 不变，根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$, $C = \frac{Q}{U}$, $E = \frac{U}{d}$ 可得 $E = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$ ，两极板间场强不变，则油滴静止不动，选项 D 正确。

第 5 节 带电粒子在电场中的运动

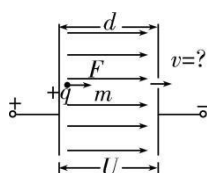
课时学习素养目标：1. 会从运动和力的关系、功能关系分析带电粒子在匀强电场中的加速问题。（科学思维）

2. 会用运动的合成与分解的知识分析带电粒子在匀强电场中的偏转问题。（科学思维）

3. 了解示波管的构造及原理，体会静电场知识对科学技术的影响。（科学思维、科学态度与责任）

任务学习一 带电粒子在电场中的加速

一个质量为 m 、带电荷量为 $+q$ 的粒子（如图所示），仅在静电力的作用下由静止开始从正极板向负极板运动。带电粒子在电场中做什么运动？到负极板的速度 v 为多大？（可用不同方法求解）



[答案]匀加速直线运动 $\sqrt{\frac{2qU}{m}}$

新知梳理

1. 利用电场使带电粒子加速时，带电粒子的速度方向与电场强度的方向相同或相反。

2. 两种分析思路

(1) 利用牛顿第二定律结合匀变速直线运动公式分析，适用于解决的问题属于匀强电场且涉及运动时间等描述运动过程的物理量。

(2) 利用静电力做功结合动能定理分析，适用于解决的问题只涉及位移、速率等动能定理公式中的物理量或非匀强电场情景。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 带电粒子在电场中只受静电力作用时，静电力一定做正功。 (×)

[解析]当静电力的方向与速度方向的夹角为钝角时，静电力做负功。

(2) 带电粒子只有在匀强电场中才能做直线运动。 (×)

[解析]只要电场线为直线，速度方向与电场线平行，带电粒子就能做直线运动。

2. 研究电子、质子、 α 粒子、离子等微观粒子在电场中的运动时，重力能否忽略不计？

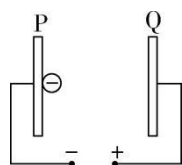
[答案]对于电子、质子、 α 粒子、离子等微观粒子，在电场中所受静电力远大于重力，除有说明或有明确的暗示以外，此类粒子一般不考虑重力（但并不忽略质量）。

3. 研究如液滴、油滴、尘埃、小球等带电微粒在电场中的运动时，重力能否忽略不计？

[答案]对于液滴、油滴、尘埃、小球等带电微粒，其质量较大，除有说明或有明确的暗示以外，一般都不能忽略重力。

典例精讲

例 1 如图所示，P 和 Q 为两平行金属板，板间有一定电压，在 P 板附近有一电子（不计重力）由静止开始向 Q 板运动，下列说法正确的是 (C)



- A. 两板间距离越大，加速时间越短
 B. 两板间距离越小，电子的加速度就越小
 C. 电子到达 Q 板时的速率，与两板间距离无关，仅与加速电压有关
 D. 电子到达 Q 板时的速率，与加速电压无关，仅与两板间距离有关

[解析] 设两板间电压为 U ，板间距为 d ，电子在板间的加速度为 a ，根据牛顿第二定律有 $q\frac{U}{d} = ma$ ，可得电子的加速度 $a = \frac{qU}{md}$ ，故两板间距离越小，电子的加速度就越大，B 错误；电子在板间做匀加速直线运动，有 $d = \frac{1}{2}at^2$ ，可得 $t = d\sqrt{\frac{2m}{qU}}$ ，故两板间距离越大，加速时间越长，A 错误；由动能定理可得 $qU = \frac{1}{2}mv^2$ ，电子到达 Q 板时的速率 $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$ ，与两板间距离无关，仅与加速电压有关，C 正确，D 错误。

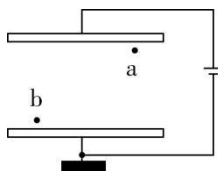
总结归纳

带电粒子在电场中做直线运动的处理方法

方法	动力学	功能关系
选择条件	匀强电场、静电力是恒力	任意电场，静电力是恒力或变力
关系式	$F = ma$, $v = v_0 + at$, $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$, $v^2 - v_0^2 = 2ax$	匀强电场： $qEd = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 非匀强电场： $qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

迁移应用

1. 如图，一平行板电容器连接在直流电源上，电容器的极板水平，两微粒 a、b 所带电荷量大小相等、符号相反，使它们分别固定于电容器的上、下极板附近，与极板距离相等。现同时释放 a、b，它们由静止开始运动，在随后的某时刻 t ，a、b 经过电容器两极板间下半区域的同一水平面，a、b 间的相互作用和重力可忽略。下列说法正确的是（ B ）



- A. a 的质量比 b 的大
B. 在 t 时刻, a 的动能比 b 的大
C. 在 t 时刻, a 和 b 的电势能相等
D. 在 t 时刻, a 和 b 的速度大小相

[解析]根据题意可知, 微粒 a 向下做加速运动, 微粒 b 向上做加速运动, 微粒 a、b 经过电容器两极板间下半区域的同一水平面, 由 $x = \frac{1}{2}at^2$ 可知, a 的加速度大小大于 b 的加速度大小, 即 $a_a > a_b$, 对微粒 a, 由牛顿第二定律得 $qE = m_a a_a$, 对微粒 b, 由牛顿第二定律得 $qE = m_b a_b$, 联立解得 $\frac{qE}{m_a} > \frac{qE}{m_b}$, 由此式可得 a 的质量比 b 的小, 故 A 错误; 在 a、b 两微粒运动过程中, a 微粒所受合外力等于 b 微粒所受合外力, a 微粒的位移大小大于 b 微粒的位移大小, 根据动能定理可知, 在 t 时刻, a 的动能比 b 的大, 故 B 正确; 由于在 t 时刻两微粒经过同一水平面, 电势相等, 电荷量大小相等, 符号相反, 所以在 t 时刻, a 和 b 的电势能不相等, 故 C 错误; 由 $v = at$, 在 t 时刻, a 微粒的速度大小大于 b 微粒的速度大小, 故 D 错误。

2. [2023 广东韶关月考]质子治疗是用一定能量的质子束照射肿瘤, 杀死癌细胞。现用一直线加速器来加速质子, 使其从静止开始被加速到 $1.0 \times 10^7 \text{ m/s}$ 。已知加速电场的场强为 $1.0 \times 10^5 \text{ N/C}$ 。质子的质量为 $1.6 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 电荷量为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。则:



(1) 质子加速需要的时间为多少?

[答案] $1 \times 10^{-6} \text{ s}$

[解析]依题意, 质子受到的静电力 $F = qE = 1.6 \times 10^{-14} \text{ N}$

根据牛顿第二定律, 可得质子的加速度为

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1.6 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-27}} \text{ m/s}^2 = 1 \times 10^{13} \text{ m/s}^2$$

$$\text{则加速时间 } t = \frac{v}{a} = \frac{1.0 \times 10^7}{1.0 \times 10^{13}} \text{ s} = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$$

(2) 加速器加速的直线长度为多少?

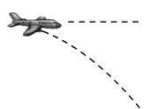
[答案]5 m

[解析]加速器加速的直线长度为 $x = \frac{v^2}{2a}$

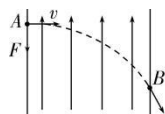
解得 $x = 5 \text{ m}$

任务学习二 带电粒子在电场中的偏转

图甲是物体从水平匀速飞行的飞机上投下，不计空气阻力时的运动轨迹；图乙是带电粒子（不计重力）垂直进入匀强电场中只在静电力作用下运动的轨迹图，结合图片分析它们的受力和运动的共同特性。



甲



乙

[答案]都只受一个恒力作用，且受力方向与初速度方向垂直。

新知梳理

- 1.偏转条件：带电粒子的初速度方向跟电场方向垂直。
- 2.运动轨迹：在匀强电场中，带电粒子的运动轨迹是一条抛物线，类似平抛运动的轨迹。
- 3.分析思路：跟分析平抛运动是一样的，不同的仅仅是平抛运动物体所受的是重力，而带电粒子所受的是静电力。

思考交流

1.判断下列说法正误。

- (1) 带电粒子仅在静电力作用下运动时，运动轨迹一定是直线。 (×)

[解析]静电力方向与速度方向不在一条直线上时，带电粒子做曲线运动。

- (2) 带电粒子在匀强电场中无论是直线加速还是偏转，均做匀变速运动。

(√)

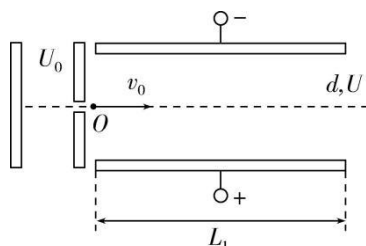
2.带电粒子（不计重力）垂直射入匀强电场后，其运动怎么处理？

[答案]利用运动的合成与分解分析，沿初速度方向做匀速直线运动，沿静电力方向做初速度为零的匀加速直线运动。

典例精讲

例 2 [2024 河北石家庄高一期末]如图所示，一个带负电的粒子由静止开始经加速电场加速后，又沿偏转电场极板间的中心轴线从O点垂直射入偏转电场，并

从另一侧射出。已知带电粒子质量 $m = 1.0 \times 10^{-29} \text{ kg}$ ，电荷量 $q = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，加速电场电压 $U_0 = 250 \text{ V}$ ，偏转电场电压 $U = 200 \text{ V}$ ，极板的长度 $L_1 = 10.0 \text{ cm}$ ，极板间距离 $d = 8.0 \text{ cm}$ （忽略带电粒子所受重力）。求：



(1) 带电粒子射入偏转电场时的初速度 v_0 ；

[答案] $4 \times 10^6 \text{ m/s}$

[解析] 根据动能定理有 $qU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$

解得 $v_0 = 4 \times 10^6 \text{ m/s}$

(2) 带电粒子射出偏转电场时的竖直侧移量。

[答案] 0.025 m

[解析] 设带电粒子在偏转电场中运动的时间为 t ，水平方向有 $L_1 = v_0 t$

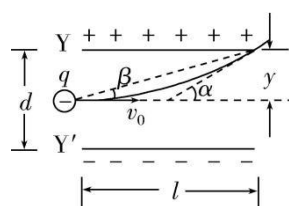
竖直方向有 $y = \frac{1}{2}at^2$

根据牛顿第二定律知 $\frac{Uq}{d} = ma$

解得 $y = 0.025 \text{ m}$

总结归纳

1. 带电粒子垂直进入匀强电场的运动类似于平抛运动，可以利用运动的合成与分解知识分析，如图所示。



(1) 初速度方向 $\begin{cases} \text{速度: } v_x = v_0 \\ \text{位移: } l = v_0 t \end{cases}$

(2) 电场线方向 $\begin{cases} \text{速度: } v_y = at = \frac{qU}{md} \cdot \frac{l}{v_0} \\ \text{位移: } y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU}{md} \cdot \frac{l^2}{v_0^2} \end{cases}$

(3) 离开电场时的偏转角 α 满足 $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_0} = \frac{qUl}{mdv_0^2}$ 。

(4) 离开电场时位移与初速度方向的夹角 β 满足 $\tan \beta = \frac{y}{l} = \frac{qUl}{2mv_0^2 d}$ 。

2.特殊推论

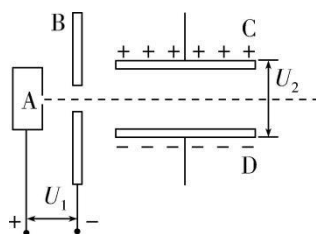
(1) 粒子从偏转电场中射出时，其速度方向的反向延长线与初速度方向的延长线交于一点，此点为沿初速度方向位移的中点。

(2) 位移方向与初速度方向间夹角 β 的正切值为速度偏转角 α 正切值的 $\frac{1}{2}$ ，即 $\tan \beta = \frac{1}{2} \tan \alpha$ 。

(3) 不同的带电粒子经同一加速电场加速后（即加速电压相同），进入同一偏转电场，则偏转距离 y 和偏转角 α 相同（ $y = \frac{U_2 l^2}{4U_1 d}$ ， $\tan \alpha = \frac{U_2 l}{2U_1 d}$ ， U_1 为加速电压、 U_2 为偏转电压）。

迁移应用

3. [2023 湖南郴州期末]如图所示，A 为粒子源，A 和极板 B 间的加速电压为 U_1 ，两水平放置的平行带电板 C、D 间的电压为 U_2 。现有质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的粒子从 A 处由静止释放，被加速电压 U_1 加速后水平进入竖直方向的匀强电场，最后从右侧射出。平行板 C、D 的长度为 L ，两板间的距离为 d ，不计带电粒子的重力，则下列说法正确的是（ D ）



A. 带电粒子射出 B 板时的速度 $v_0 = \sqrt{\frac{qU_1}{2m}}$

B. 带电粒子在 C、D 间运动的时间 $t = L \sqrt{\frac{2qU_1}{m}}$

C. 带电粒子飞出 C、D 间电场时在竖直方向上发生的位移 $y = \frac{U_2 L^2}{2U_1 d}$

D. 若同时使 U_1 和 U_2 加倍，则带电粒子在飞出 C、D 间电场时的速度与水平方向的夹角不变

[解析]粒子从粒子源 A 到 B 极板，由动能定理得 $qU_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$ ，故 $v_0 = \sqrt{\frac{2qU_1}{m}}$ ，故

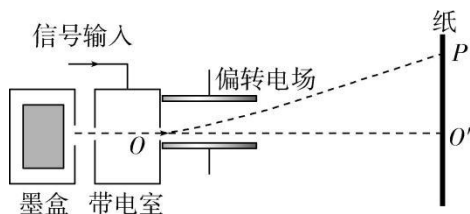
A 错误；粒子在 C、D 间运动的时间 $t = \frac{L}{v_0} = L \sqrt{\frac{m}{2qU_1}}$ ，故 B 错误；粒子飞出 C、D

间电场时在竖直方向发生的位移 $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU_2}{md} \cdot \left(\frac{L}{v_0}\right)^2 = \frac{U_2L^2}{4U_1d}$ ，故 C 错误；若

粒子飞出 C、D 间电场时速度与水平方向夹角为 θ ，则 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{\frac{qU_2}{md} \frac{L}{v_0}}{v_0} =$

$\frac{qLU_2}{mdv_0^2} = \frac{LU_2}{2dU_1}$ ，同时使 U_1 和 U_2 加倍，夹角不变，故 D 正确。

4. [2024 辽宁丹东高一统考]如图所示为一种电荷控制式喷墨打印机的打印头的结构简图，其中墨盒可以喷出极小的质量为 m 、电荷量为 $-q$ 的墨汁微粒，此微粒经过带电室后以水平初速度 v_0 进入极板间的偏转电场。极板沿水平方向放置，中心轴线为 OO' ，微粒从 O 点射入偏转电场，射出电场后，能继续运动直到打到纸上，显示出字符。设偏转电场两极板的长度为 L ，间距为 d ，电压为 U ，极板右端与纸间水平距离为 $2L$ ，不计空气阻力及重力作用，求：



(1) 微粒经过偏转电场过程中静电力对它做的功 W ；

[答案] $\frac{U^2q^2L^2}{2md^2v_0^2}$

[解析] 根据题意可知，微粒在偏转电场中做类平抛运动

水平方向上有 $L = v_0t$

竖直方向上，由牛顿第二定律可得 $a = \frac{Uq}{md}$

又有 $y = \frac{1}{2}at^2$

联立可得 $y = \frac{UqL^2}{2mdv_0^2}$

微粒经过偏转电场过程中静电力对它做的功

$W = Eqy = \frac{U^2q^2L^2}{2md^2v_0^2}$

(2) 微粒打到纸上的位置 P 点与轴线 OO' 间的距离。

[答案] $\frac{5UqL^2}{2mdv_0^2}$

[解析]根据题意可知，微粒在偏转电场中做类平抛运动，微粒飞出电场之后做匀速直线运动，且离开匀强电场时速度方向的反向延长线经过初速度方向位移中点，由几何关系有 $\frac{h}{y} = \frac{\frac{L}{2} + 2L}{\frac{L}{2}}$

$$\frac{h}{y} = \frac{\frac{L}{2} + 2L}{\frac{L}{2}}$$

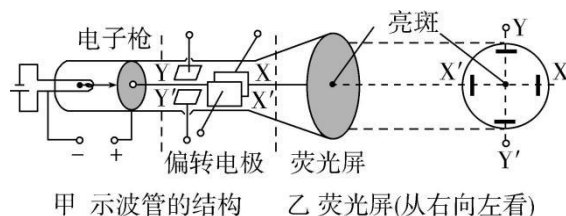
$$\text{解得 } h = 5y = \frac{5UqL^2}{2mdv_0^2}$$

任务学习三 示波管的原理

新知梳理

1.构造

示波管是示波器的核心部件，外部是一个抽成真空的玻璃壳，内部主要由电子枪、偏转电极和荧光屏组成，如图所示。



2.原理

(1) 扫描电压： XX' 偏转电极接入的是由仪器自身产生的锯齿形电压。

(2) 灯丝被电源加热后，有电子射出，发射出来的电子经加速电场加速后，以很大的速度进入偏转电场，如果在 YY' 偏转电极上加一个待测的信号电压，在 XX' 偏转电极上加一扫描电压，在荧光屏上就会出现按待测信号规律变化的稳定图像。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 如果偏转电极 YY' 和 XX' 上不加电压，电子束将不偏转，打在荧光屏中心。

(☒)

(2) 只在 YY' 上加恒定电压时，电子束不偏转。 (☐)

[解析]电子束将沿 YY' 方向偏转。

(3) 只在 XX' 上加恒定电压时，电子束沿 YY' 方向偏转。 (☐)

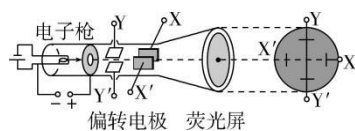
[解析]电子束将沿 XX' 方向偏转。

2. 结合“新知梳理”的原理图，思考怎样才能使电子打在荧光屏上的第一象限？

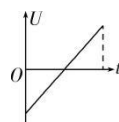
[答案] X 接电源正极， X' 接电源负极， Y 接电源正极， Y' 接电源负极。

典例精讲

例 3 [2024 安徽蚌埠高二统考]多选题示波器的核心部件是示波管，示波管由电子枪、偏转电极和荧光屏组成，其原理如图甲所示。若在荧光屏上观察到一条与 XX' 平行的水平亮线（在 I、II 象限），则加在 XX' 和 YY' 之间的电压可能是（ BC ）



甲



乙

- A. 在 XX' 之间加不变的电压 B. 在 XX' 之间加图乙所示的电压
C. 在 YY' 之间加不变的电压 D. 在 YY' 之间加图乙所示的电压

[解析]在荧光屏上观察到一条与 XX' 平行的水平亮线，可知打在荧光屏的电子纵坐标相同，应在 YY' 之间加不变的电压，打在荧光屏的电子横坐标在一定区间内，应在 XX' 之间加图乙所示的电压，故 A、D 错误，B、C 正确。

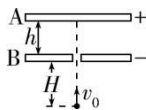
专题课 带电粒子在电场中运动的四种题型

题型一 带电体在电场和重力场中的直线运动

1.动力学方法——牛顿运动定律、匀变速直线运动公式。

2.功、能量方法——动能定理、能量守恒定律。

例 1 如图所示，水平放置的 A、B 两平行板相距 h ，上板 A 带正电，现有质量为 m 、带电荷量为 $+q$ 的小球在 B 板下方距 B 板为 H 处，以初速度 v_0 竖直向上从 B 板小孔进入板间电场，重力加速度为 g 。



(1) 若板间距足够大，小球在板间做哪种运动？

[答案]见解析

[解析]小球在板间受重力和静电力作用，先做竖直向上的匀减速直线运动，后做竖直向下的匀加速直线运动。

(2) 欲使小球刚好打在 A 板，A、B 间电势差为多少？

[答案] $\frac{m[v_0^2 - 2g(H+h)]}{2q}$

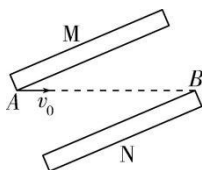
[解析]整个过程只有重力和静电力做功，由动能定理得

$$-mg(H+h) - qU_{AB} = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$\text{解得 } U_{AB} = \frac{m[v_0^2 - 2g(H+h)]}{2q}$$

迁移应用

1. [2024 江苏苏州高一月考] 如图所示, 倾斜放置的平行板电容器两极板与水平面夹角为 θ , 极板间距为 d , 带负电的微粒质量为 m 、带电荷量大小为 q , 从极板 M 的左边缘 A 处以初速度 v_0 水平射入, 沿直线运动并从极板 N 的右边缘 B 处射出, 重力加速度为 g , 求:

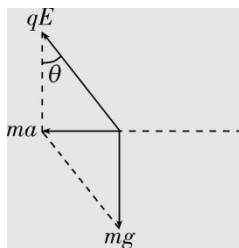


(1) 微粒到达 B 点时的速度大小;

$$[\text{答案}] \sqrt{v_0^2 - \frac{2gd}{\cos \theta}}$$

[解析] 对微粒受力分析, 受重力和静电力, 微粒在两个力作用下沿直线运动, 则有合力方向沿水平方向, 由此可知, 静电力方向垂直极板斜向左上方, 合力方向水平向左, 如图所示, 微粒做匀减速运动, 由图可得 $mg \tan \theta = ma$, 解得 $a = g \tan \theta$, 由几何关系可得 $x_{AB} = \frac{d}{\sin \theta}$, 由 $v^2 - v_0^2 = -2ax_{AB}$, 可得微粒到达 B

点时的速度大小 $v = \sqrt{v_0^2 - \frac{2gd}{\cos \theta}}$ 。



(2) N、M 两极板的电势差 U_{NM} 。

$$[\text{答案}] -\frac{mgd}{q \cos \theta}$$

[解析] 在竖直方向由平衡条件可得 $qE \cos \theta = mg$

$$\text{解得 } E = \frac{mg}{q \cos \theta}$$

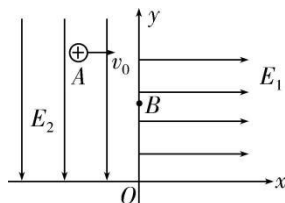
因微粒带负电, 电容器两极板间电场方向由 M 指向 N, 由匀强电场的电场强度与电势差的关系, 可得两极板的电势差 $U_{MN} = Ed = \frac{mgd}{q \cos \theta}$

则有 $U_{NM} = -\frac{mgd}{q \cos \theta}$

题型二 带电体在电场和重力场中的曲线运动

带电体在重力、静电力作用下做类平抛和类斜抛运动等，利用运动的合成与分解把匀变速曲线运动转换为直线运动研究，涉及运动学公式、牛顿运动定律、动能定理、功能关系的综合应用。

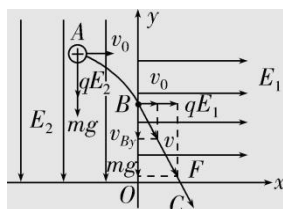
例2 [2023 辽宁丹东期末]如图所示，竖直平面内有一直角坐标系 xOy ， x 轴水平。第一象限内有沿 x 轴正方向的匀强电场 E_1 （大小未知），第二象限有沿 y 轴负方向的匀强电场 $E_2 = 50 \text{ N/C}$ 。一个质量 $m = 1 \text{ kg}$ 、带电荷量 $q = +0.1 \text{ C}$ 的小球（视为质点）从 A 点 $(-0.3 \text{ m}, 0.7 \text{ m})$ 以初速度 v_0 水平抛出，小球从 y 轴上 B 点 $(0, 0.4 \text{ m})$ 进入第一象限，并恰好沿直线从 x 轴上 C 点（图中未标出）飞出，重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求：



(1) 初速度 v_0 大小；

[答案]1.5 m/s

[解析]小球在第二象限做类平抛运动，轨迹如图所示



$$mg + E_2 q = ma$$

$$\text{解得 } a = 15 \text{ m/s}^2$$

$$\text{竖直方向有 } h = \frac{1}{2}at^2$$

$$\text{解得 } t = 0.2 \text{ s}$$

$$\text{则有 } v_0 = \frac{x}{t} = \frac{0.3}{0.2} \text{ m/s} = 1.5 \text{ m/s}$$

(2) B 、 C 两点间电势差 U_{BC} 。

[答案]10 V

[解析]在 B 点， $v_{By} = at = 3 \text{ m/s}$

在第一象限做直线运动，则合外力与速度方向共线，有 $\frac{E_1 q}{mg} = \frac{v_0}{v_{By}}$

解得 $E_1 = 50 \text{ V/m}$

设小球在第一象限内沿 x 轴方向运动的距离为 d

$$\text{有 } \frac{d}{OB} = \frac{v_0}{v_{By}}$$

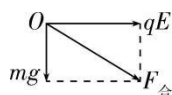
解得 $d = 0.2 \text{ m}$

则有 $U_{BC} = E_1 d = 10 \text{ V}$

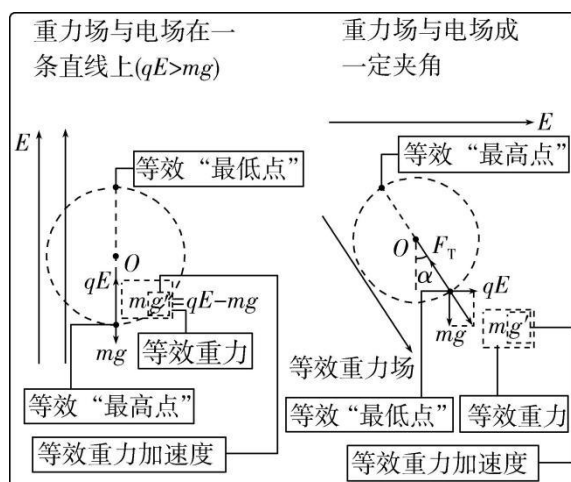
题型三 带电体在电场和重力场中的圆周运动

1. 等效重力法

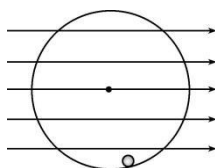
如图所示，把静电力和重力合成，其合力 $F_{\text{合}}$ 为等效重力场中的“重力”，
 $g' = \frac{F_{\text{合}}}{m}$ 为等效重力场中的“等效重力加速度”； $F_{\text{合}}$ 的方向为“等效重力”的方向，即在等效重力场中的“竖直向下”方向。



2. 带电体在“等效重力场”中的圆周运动问题

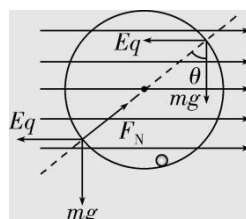


例 3 多选题如图所示，竖直固定的光滑绝缘圆形轨道处于水平向右的匀强电场中，质量为 m 的带电小球（可视为质点）在轨道内恰好做完整的圆周运动。小球所受的静电力与重力大小相等，轨道半径为 R ，重力加速度为 g ，下列说法正确的是（ **BD** ）



- A. 小球速度的最小值为 $\sqrt{gR}$
- B. 动能的最大值与最小值的差值为 $2\sqrt{2}mgR$
- C. 小球速度的最大值为 $\sqrt{6\sqrt{2}gR}$
- D. 小球对轨道压力的最大值与最小值的差值为 $6\sqrt{2}mg$

[解析]以小球带负电为例，在重力场与电场的复合场中，作出小球在等效最高点与等效最低点处的受力示意图如图所示。



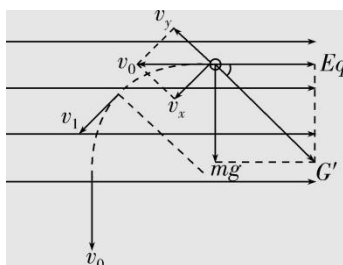
由于 $Eq = mg$ ，则可知 $\theta = 45^\circ$ ， $F_{\text{合}} = \sqrt{2}mg$ ，小球在等效最高点时速度最小，此时恰由重力与静电力的合力 $F_{\text{合}}$ 提供向心力，则由牛顿第二定律有 $\sqrt{2}mg = m \frac{v_{\min}^2}{R}$ ，解得 $v_{\min} = \sqrt{\sqrt{2}gR}$ ，故 A 错误；设小球在等效最高点时的动能为 E_{k1} ，在等效最低点时的动能为 E_{k2} ，则由动能定理有 $F_{\text{合}} \cdot 2R = E_{k2} - E_{k1}$ ，解得 $E_{k2} - E_{k1} = 2\sqrt{2}mgR$ ，故 B 正确；设小球在等效最低点时的速度为 $v_{\max}$ ，则由牛顿第二定律有 $F_N - \sqrt{2}mg = m \frac{v_{\max}^2}{R}$ ，小球从等效最高点到等效最低点的过程中，由动能定理有 $F_{\text{合}} \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 - \frac{1}{2}mv_{\min}^2$ ，解得 $F_N = 6\sqrt{2}mg$ ， $v_{\max} = \sqrt{5\sqrt{2}gR}$ ，根据牛顿第三定律可知，小球在等效最低点对轨道的压力 $F_N' = F_N = 6\sqrt{2}mg$ ，而小球在等效最高点时对轨道的压力为零，则可知小球对轨道压力的最大值与最小值的差值为 $6\sqrt{2}mg$ ，故 C 错误，D 正确。

迁移应用

2. [2023 山东济南期末]多选题地面上方某区域存在方向水平向右的匀强电场，将一带正电荷的小球自电场中P点水平向左射出。小球所受的重力和静电力的大小相等，重力势能和电势能的零点均取在P点。则射出后（ BD ）
- A. 小球的动能最小时，其电势能最大
- B. 小球的动能等于初始动能时，其电势能最大
- C. 小球速度的水平分量和竖直分量大小相等时，其动能最大

D. 从射出时刻到小球速度的水平分量为零时，重力做的功等于小球电势能的增加量

[解析]如图所示， $Eq = mg$ ，故等效重力 G' 的方向与水平方向成 45° 角。当 $v_y = 0$ 时，速度最小， $v_{\min} = v_1$ ，由于此时 v_1 存在水平分量，静电力还会做负功，故此时电势能不是最大，此时速度水平分量与竖直分量相等，动能最小，故 A、C 错误；在水平方向上， $v_0 = \frac{Eq}{m}t$ ，在竖直方向上， $v = gt$ ，由于 $Eq = mg$ ，得 $v = v_0$ ，如图所示，小球的初动能等于末动能，由于此时速度没有水平分量，故电势能最大，由动能定理可知 $W_G + W_{Eq} = 0$ ，则重力做的功等于小球电势能的增加量，故 B、D 正确。



题型四 带电粒子在交变电场中的运动

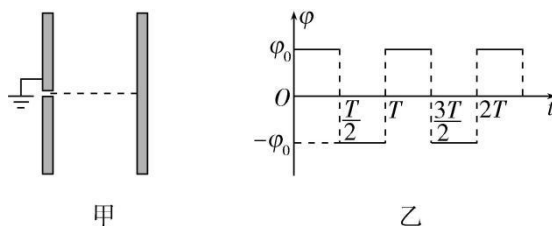
1. 带电粒子在交变电场中的直线运动

(1) 带电粒子进入电场时初速度为零，或初速度方向与电场方向平行，带电粒子在交变电场力的作用下，做加速、减速交替的直线运动。

(2) 通常用动力学知识分析求解。重点分析各段时间内的加速度、运动性质、每段时间与交变电场的周期 T 间的关系等。

(3) 常用图像法来处理此类问题。通过画出粒子的 $v-t$ 图像，可将粒子复杂的运动过程形象、直观地反映出来，便于求解。

例 4 多选题如图甲所示，两平行金属板竖直放置，左极板接地，中间有小孔，右极板电势随时间变化的规律如图乙所示，电子原来静止在左极板小孔处，不计电子的重力，下列说法正确的是 (AC)



A. 若 $t = 0$ 时刻释放电子，电子始终向右运动，直到打到右极板上

B. 若 $t = 0$ 时刻释放电子，电子可能在两极板间做往返运动

C. 若 $t = \frac{T}{4}$ 时刻释放电子，电子可能在两极板间做往返运动，也可能打到右极板上

D. 若 $t = \frac{3T}{8}$ 时刻释放电子，电子必然打到左极板上

[解析] 若 $t = 0$ 时刻释放电子，电子将重复先加速后减速的运动，直到打到右极板，不会在两极板间做往返运动，所以 A 正确，B 错误；若从 $t = \frac{T}{4}$ 时刻释放电子，电子先加速 $\frac{T}{4}$ ，再减速 $\frac{T}{4}$ ，电子可能已到达右极板，若此时未到达右极板，则电子将在两极板间做往返运动，所以 C 正确；同理，若从 $t = \frac{3T}{8}$ 时刻释放电子，电子有可能到达右极板，也有可能从左极板射出，这取决于两极板间的距离，所以 D 错误。

迁移应用

3. [2024 山东济南高一统考] 如图 (a) 所示，两个平行金属板 P、Q 竖直放置，两板间加上如图 (b) 所示的电压。 $t = 0$ 时，Q 板比 P 板电势高，此时在两板的正中央 M 点放一个电子，速度为零，电子仅在静电力作用下运动，运动过程中始终未与极板相碰，下列时刻中电子速度和加速度的方向相同的是 (B)

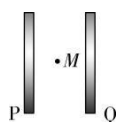


图 (a)

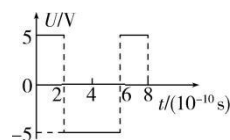


图 (b)

A. 3×10^{-10} s B. 5×10^{-10} s C. 6.5×10^{-10} s D. 7×10^{-10} s

[解析] 依题意，结合图 (b) 可知，在 $t = 0$ 时，由于 Q 板比 P 板电势高 5 V，则电子在 $0 \sim 2 \times 10^{-10}$ s 这一段时间内，所受静电力向右，电子向右做匀加速直线运动；在 $2 \times 10^{-10} \sim 4 \times 10^{-10}$ s 这一段时间内，电子所受静电力向左，电子向右做减速运动，根据对称性可知在 $t = 4 \times 10^{-10}$ s 时，电子速度为 0；在 $4 \times 10^{-10} \sim 6 \times 10^{-10}$ s 这一段时间内，电子所受静电力向左，电子向左做加速运动； $6 \times 10^{-10} \sim 8 \times 10^{-10}$ s 内，电子所受静电力向右，电子向左做减速运动。故选 B。

2. 带电粒子在交变电场中的曲线运动

带电粒子以一定的初速度垂直于电场方向进入交变电场，粒子做曲线运动。

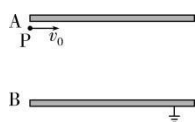
(1) 若带电粒子的初速度很大, 粒子通过交变电场时所用时间极短, 故可认为粒子所受静电力为恒力, 粒子在电场中做类平抛运动。

(2) 若粒子在电场中运动时间较长, 在初速度方向上做匀速直线运动, 在垂直初速度方向上利用 $v_y - t$ 图像进行分析:

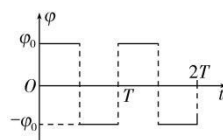
① $v_y = 0$ 时, 速度方向沿 v_0 方向。

② y 方向位移可用 $v_y - t$ 图像的面积进行求解。

例 5 [2024 重庆巴蜀中学高一期末] 多选题如图甲所示, 长为 $2d$ 的两水平金属板 A、B 组成一间距为 d 的平行板电容器, 电容器的 B 板接地, A 板电势 φ 随时间 t 的变化关系如图乙所示, 其周期 $T = \frac{d}{v_0}$ 。P 为靠近 A 板左侧的一粒子源, 能够水平向右发射初速度为 v_0 的相同带电粒子。已知 $t = 0$ 时刻发射的粒子刚好能从 B 板右侧边缘离开电容器, 则下列判断正确的是 (CD)



甲



乙

A. 任何时刻发射的粒子都能离开电容器

B. 该粒子源发射的粒子的比荷为 $\frac{v_0^2}{\varphi_0}$

C. $t = \frac{T}{4}$ 时刻射入的粒子离开电容器时的电势能等于射入时的电势能

D. 任何时刻发射的粒子在电场中的速度大小都不会超过 $\sqrt{2}v_0$

[解析] 根据题意可知, 能离开电容器的粒子在电容器中的运动时间为 $t = \frac{2d}{v_0} =$

$2T$, 粒子在竖直方向上的加速阶段和减速阶段的加速度大小均为 $a = \frac{\varphi_0 q}{dm}$, 则在

$t = \frac{T}{4}$ 时刻进入的粒子在竖直方向上先向下加速后减速, 然后又向上先加速后减

速, 在持续的 $2T$ 时间内, 根据对称性可知粒子在竖直方向的总位移为 0, 所以

其电势能不变, 故 C 正确。 $\frac{T}{4}$ 至 T 之间进入的粒子会打到 A 极板, 故 A 错误; 在

$t = 0$ 时刻开始的 2 个周期内, 粒子在竖直方向上运动的距离为 d , 由匀变速直

线运动的规律可得 $d = 4 \times \frac{1}{2} a \times \left(\frac{T}{2}\right)^2$, 又因为 $a = \frac{q\varphi_0}{md}$, $T = \frac{d}{v_0}$, 可解得 $\frac{q}{m} = \frac{2v_0^2}{\varphi_0}$, B 错误;

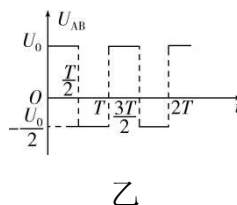
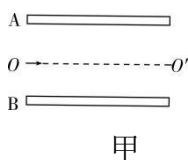
$t = 0$ 时刻发射的粒子, 加速时间为 $\frac{T}{2}$, 粒子在竖直方向的分速度最大, 为 $v_y =$

$at = \frac{q\varphi_0}{md} \times \frac{1}{2} \times \frac{d}{v_0} = v_0$, 故此时粒子的速度大小为 $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{2}v_0$, 则任何时

刻发射的粒子在电场中的速度大小都不会超过 $\sqrt{2}v_0$, 故 D 正确。

迁移应用

4. [2023 山东潍坊期末] 如图甲所示, 长为 L 的金属板 A、B 水平正对固定, 两板间距离为 d , OO' 为两板间空间的中轴线, A、B 板上加如图乙所示的电压。质量为 m 、带电荷量为 $+q$ 的粒子持续从 O 点沿 OO' 以相同速度射入两板之间, 粒子均能穿过极板且在两板间运动时间均为 T 。不计粒子重力以及粒子间相互作用力。



(1) 求粒子进入极板时的速度大小;

[答案] $\frac{L}{T}$

[解析] 粒子进入极板时的速度大小 $v_0 = \frac{L}{T}$

(2) 求 $t = \frac{T}{2}$ 时进入两板间的粒子射出极板时到 OO' 的距离;

[答案] $\frac{qU_0T^2}{16md}$

[解析] $t = \frac{T}{2}$ 时进入两板间的粒子, $\frac{T}{2} \sim T$ 时间内 $y_1 = \frac{1}{2}a_1t_1^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU_0}{2md} \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 = \frac{qU_0T^2}{16md}$

经过 $\frac{T}{2}$ 时速度 $v_1 = a_1t_1 = \frac{qU_0}{2md} \cdot \frac{T}{2} = \frac{qU_0T}{4md}$

$T \sim \frac{3T}{2}$ 时间内位移大小 $y_2 = v_1t_2 - \frac{1}{2}a_2t_2^2 = \frac{qU_0T}{4md} \cdot \frac{T}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{qU_0}{md} \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 = 0$

所以 $t = \frac{T}{2}$ 时进入两板间的粒子射出极板时到 OO' 的距离为 $s = y_1 + y_2 = \frac{qU_0T^2}{16md}$

其他条件不变, 仅改变电压 U_0 的大小, 要确保粒子能穿过极板, 求 U_0 的最大值。

[答案] $\frac{8md^2}{5qT^2}$

[解析] 设 U_0 的最大值为 U_m , 粒子射出极板时竖直方向刚好到达板边缘, 当 $t = 0$ 时进入

$y_{01} = \frac{1}{2}a_{01}t_3^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU_m}{md} \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 = \frac{qU_mT^2}{8md}$

$$\text{经过}\frac{T}{2}\text{时速度}v_{01}=a_{01}t_3=\frac{qU_m}{md}\cdot\frac{T}{2}=\frac{qU_mT}{2md}$$

$$\frac{T}{2}\sim T\text{时间内}y_{02}=v_{01}t_4-\frac{1}{2}a_{02}t_4^2=\frac{qU_mT}{2md}\cdot\frac{T}{2}-\frac{1}{2}\cdot\frac{qU_m}{2md}\cdot\left(\frac{T}{2}\right)^2=\frac{3qU_mT^2}{16md}$$

$$y_{01}+y_{02}=\frac{d}{2}$$

$$\text{解得}U_m=\frac{8md^2}{5qT^2}$$

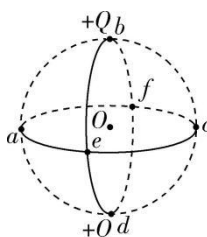
章末总结 体系构建



题型整合

题型一 电场能的性质

例 1 [2024 山东济南高一统考]多选题如图所示， a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 是以 O 为球心的球面上的点，平面 $aecf$ 与平面 $bedf$ 垂直，分别在 b 、 d 两个点处放有等量同种点电荷 $+Q$ 。下列说法正确的是（ **AC** ）

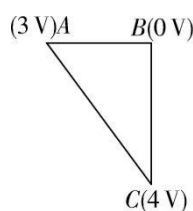


- A. a 、 e 、 c 、 f 四点电势相同
- B. 沿直线 $O \rightarrow f$ 电场强度一定越来越大
- C. 若将电子从 e 点由静止释放，电子将在 e 、 O 、 f 之间往复运动
- D. 若电子沿直线 $a \rightarrow O \rightarrow c$ 运动，其电势能先增加后减少

[解析] a 、 e 、 c 、 f 四点到两个正点电荷的距离相同，可知四点电势相同，选项 A 正确；根据等量同种点电荷中垂线的电场分布可知，沿直线 $O \rightarrow f$ 电场强度可能越来越大，也可能先增大后减小，选项 B 错误；电子在 e 点和 f 点所受静电力大小相等且都指向 O 点，则若将电子从 e 点由静止释放，电子将在 e 、 O 、 f 之间往复运动，选项 C 正确；若电子沿直线 $a \rightarrow O \rightarrow c$ 运动，静电力先做正功后做负功，则其电势能先减少后增加，选项 D 错误。

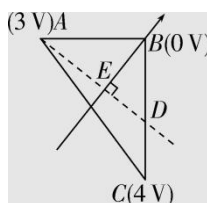
迁移应用

1. [2024 湖南益阳高一统考]多选题在匀强电场中， A 、 B 、 C 三点电势如图所示，已知电场方向与 $\triangle ABC$ 所在平面平行， AB 、 BC 、 AC 之间的距离分别为 3 cm、4 cm、5 cm。下列说法正确的是 (BC)



- A. 电子在 C 点具有的电势能为 4 eV
- B. 质子从 A 点移动到 C 点静电力做功为 -1 eV
- C. 匀强电场的电场强度大小为 $\sqrt{2} \times 10^2$ N/C
- D. 匀强电场的方向与线段 AC 方向平行

[解析]电子在 C 点具有的电势能 $E_p = -e\varphi_C = -4$ eV，故 A 错误； A 、 C 两点间的电势差 $U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 3$ V - 4 V = -1 V，质子从 A 点移动到 C 点静电力做功 $W = eU_{AC} = -1$ eV，故 B 正确；



如图所示，在 BC 边上取一点 D ，使 $BD = 3$ cm，由等分法可知， D 点电势为 3 V，连接 A 、 D ， AD 为电场中的一条等势线，过 B 点作 AD 的垂线交 AD 于 E 点，电场

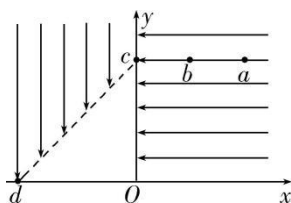
线与等势线垂直，且沿着电场线电势逐渐降低，匀强电场的方向沿 EB 方向，线

段 EB 的长度 $d = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 3 \times 10^{-2} \text{m} = \frac{3\sqrt{2}}{2} \times 10^{-2} \text{m}$, 匀强电场的电场强度大小 $E =$

$$\frac{U}{d} = \frac{3}{\frac{3\sqrt{2}}{2} \times 10^{-2}} \text{ N/C} = \sqrt{2} \times 10^2 \text{ N/C}, \text{ 故 C 正确, D 错误。}$$

题型二 带电粒子在电场中的运动

例 2 [2024 四川达州高一期末] 多选题如图所示, xOy 坐标系内, 第一象限存在水平向左的匀强电场, 第二象限存在竖直向下的匀强电场, y 轴上 c 点和 x 轴上 d 点连线为电场的下边界。相同的带电粒子甲、乙分别从 a 点和 b 点由静止释放, 两粒子均从 c 点水平射入第二象限, 且均从 c 、 d 连线上射出, 已知 $ab = bc$, 下列说法正确的是 (不计粒子重力) (**BD**)



- A. 带电粒子甲、乙在 c 点速度之比为 2:1
- B. 带电粒子甲、乙在第二象限电场内的位移方向相同
- C. 带电粒子甲、乙在第二象限射出电场时速度方向不同
- D. 带电粒子甲、乙在第二象限电场内的位移比为 2:1

[解析] 令 $ab = bc = x_0$, 在第一象限对甲、乙粒子有 $qE_1 \cdot 2x_0 = \frac{1}{2}mv_1^2, qE_1x_0 =$

$\frac{1}{2}mv_2^2$, 解得 $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{2}$, 故 A 错误; 位移方向由初始位置指向末位置, 可知带电粒子

甲、乙在第二象限电场内的位移方向均沿 $c \rightarrow d$ 方向, 位移方向相同, 故 B 正确;

令粒子到达 c 点的速度为 v_0 , 则在第二象限有 $x = v_0t, y = \frac{1}{2}at^2, a = \frac{qE_2}{m}$, 令粒子

从 cd 射出的速度方向与水平方向夹角为 θ , 则有 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{at}{v_0} = \frac{\frac{1}{2}at^2}{\frac{1}{2}v_0t} = \frac{2y}{x}$, 令

$\angle cdo = \alpha$, 则 $\tan \alpha = \frac{y}{x}$, 可知 $\tan \theta = 2 \tan \alpha$, θ 为一个定值, 故 C 错误; 根据

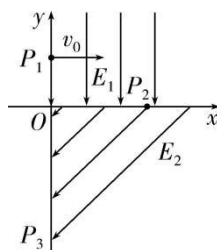
上述分析, 带电粒子在第二象限电场内的位移为 $x_{\text{合}} = \frac{x}{\cos \alpha} = \frac{v_0t}{\cos \alpha}$, 又 $\tan \alpha =$

$\frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}at^2}{v_0t}$, 解得 $x_{\text{合}} = \frac{2mv_0^2 \tan \alpha}{qE_2 \cos \alpha}$, 由于带电粒子甲、乙在 c 点速度之比为 $\sqrt{2}:1$, 可

知带电粒子甲、乙在第二象限电场内的位移比为 2:1, 故 D 正确。

迁移应用

2. [2024 山东德州高一期末]在光滑的绝缘水平桌面上有一直角坐标系，现有一个质量 $m = 0.1 \text{ kg}$ 、电荷量为 $q = +2 \times 10^{-6} \text{ C}$ 的带电小球，经电势差为 U 的加速电场加速后，从 y 轴正半轴上 $y = 0.5 \text{ m}$ 的 P_1 处以速度 v_0 沿 x 轴正方向射入 $y > 0$ 、 $x > 0$ 的空间，在 $y > 0$ 、 $x > 0$ 的空间有沿 y 轴负方向的匀强电场， $E_1 = 1.25 \times 10^4 \text{ V/m}$ ，经 $x = 1.0 \text{ m}$ 的 P_2 点射入 $y < 0$ 、 $x > 0$ 的空间，在 $y < 0$ 、 $x > 0$ 的空间存在与 x 轴负方向夹角为 45° 、场强大小为 $E_2 = 5\sqrt{2} \times 10^4 \text{ V/m}$ 的匀强电场，小球从 y 轴负半轴上的 P_3 点射出。如图所示，求：



(1) 加速电场电势差 U 的大小；

[答案]6 250 V

[解析]带电小球在加速电场加速过程中，由动能定理得 $qU = \frac{1}{2}mv_0^2$

在电场 E_1 中有 $x = v_0 t_1$

$$y = \frac{1}{2}at_1^2$$

$$qE_1 = ma$$

联立解得 $v_0 = 0.5 \text{ m/s}$ ， $U = 6\,250 \text{ V}$

(2) 带电小球经过 P_2 时的速度；

[答案] $\frac{\sqrt{2}}{2} \text{ m/s}$ ，方向与 x 轴正方向夹角为 45°

[解析]设带电小球经过 P_2 时的速度为 v ， v 与 x 轴正方向夹角为 θ ，沿 y 轴负方向的速度为 v_y

$$v_y = \frac{qE_1 t_1}{m} = 0.5 \text{ m/s}$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ m/s}$$

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = 1$$

解得 $\theta = 45^\circ$

故经过 P_2 时的速度大小为 $\frac{\sqrt{2}}{2} \text{ m/s}$ ，方向与 x 轴正方向夹角为 45°

(3) P_3 的坐标。

[答案](0, -3 m)

[解析]设带电小球在y轴负半轴上的 P_3 点的坐标为(0, $-y_2$)，在 E_2 中运动的时间为 t_2

$$-x = v \cos 45^\circ \cdot t_2 - \frac{qE_2 t_2^2 \cos 45^\circ}{2m}$$

$$y_2 = v \sin 45^\circ \cdot t_2 + \frac{qE_2 t_2^2 \sin 45^\circ}{2m}$$

解得 $y_2 = 3 \text{ m}$

因此坐标为(0, -3 m)

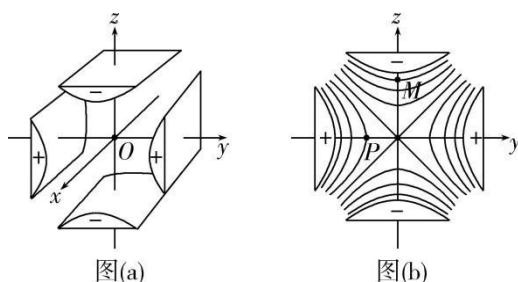
高考链接

1. [2023 湖北, 3, 4 分]在正点电荷 Q 产生的电场中有 M 、 N 两点, 其电势分别为 φ_M 、 φ_N , 电场强度大小分别为 E_M 、 E_N 。下列说法正确的是 (C)

- A. 若 $\varphi_M > \varphi_N$, 则 M 点到电荷 Q 的距离比 N 点的远
- B. 若 $E_M < E_N$, 则 M 点到电荷 Q 的距离比 N 点的近
- C. 若把带负电的试探电荷从 M 点移到 N 点, 电场力做正功, 则 $\varphi_M < \varphi_N$
- D. 若把带正电的试探电荷从 M 点移到 N 点, 电场力做负功, 则 $E_M > E_N$

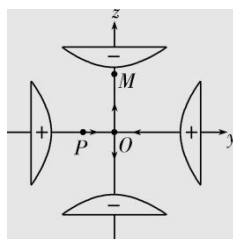
[解析]电场线由正点电荷发出, 且沿电场线方向电势降低, 若 $\varphi_M > \varphi_N$, 则 M 点到电荷 Q 的距离较近, 选项 A 错误。点电荷周围的场强 $E = k \frac{Q}{r^2}$, 若 $E_M < E_N$, 则 M 点到电荷 Q 的距离较远, 选项 B 错误。若把带负电的试探电荷从 M 点移到 N 点, 电场力做正功, 则电势能减小, 即 $E_{pM} > E_{pN}$, 又由于试探电荷带负电, 则 $\varphi_M < \varphi_N$, 选项 C 正确。若把带正电的试探电荷从 M 点移到 N 点, 电场力做负功, 则电势能增加, 即 $E_{pM} < E_{pN}$, 又由于试探电荷带正电, 则 $\varphi_M < \varphi_N$, N 点到点电荷 Q 的距离较近, 再由 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 知 $E_M < E_N$, 选项 D 错误。

2. [2023 辽宁, 9, 6 分]多选题图 (a) 为金属四极杆带电粒子质量分析器的局部结构示意图, 图 (b) 为四极杆内垂直于 x 轴的任意截面内的等势面分布图, 相邻两等势面间电势差相等, 则 (CD)

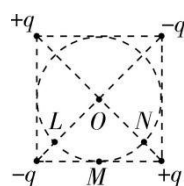


- A. P 点电势比 M 点的低
B. P 点电场强度大小比 M 点的大
C. M 点电场强度方向沿 z 轴正方向
D. 沿 x 轴运动的带电粒子，电势能不变

[解析]由题图(a)知 x 轴上的电场强度为0，沿 y 轴和 z 轴的电场线如图所示，故C正确；由沿电场线方向电势降低可知 $\varphi_P > \varphi_O > \varphi_M$ ，故A错误；等差等势面较密集的地方电场强度较大，故 P 点的电场强度比 M 点的小，B错误； x 轴上电场强度处处为0，所以沿 x 轴运动的带电粒子电势能不变，D正确。



3. [2022 全国乙，19，6 分]多选题如图，两对等量异号点电荷 $+q$ 、 $-q$ ($q > 0$)固定于正方形的4个顶点上。 L 、 N 是该正方形两条对角线与其内切圆的交点， O 为内切圆的圆心， M 为切点。则 (AB)

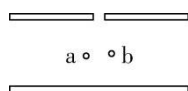


- A. L 和 N 两点处的电场方向相互垂直
B. M 点的电场方向平行于该点处的切线，方向向左
C. 将一带正电的点电荷从 M 点移动到 O 点，电场力做正功
D. 将一带正电的点电荷从 L 点移动到 N 点，电场力做功为零

[解析]两个正电荷在 N 点产生的场强方向由 N 指向 O ， N 点处于两负电荷连线的中垂线上，两负电荷在 N 点产生的场强方向由 N 指向 O ，则 N 点的合场强方向由 N 指向 O ，同理可知，两个负电荷在 L 点产生的场强方向由 O 指向 L ， L 点处于两正电荷连线的中垂线上，两正电荷在 L 点产生的场强方向由 O 指向 L ，则 L 点的合场强方向由 O 指向 L ，由于正方形两对角线垂直平分，则 L 和 N 两点处的电场方向相互垂直，故A正确；正方形下方的一对等量异号电荷在 M 点产生的场强方向向左，而正方形上方的一对等量异号电荷在 M 点产生的场强方向向右，由于 M 点离上方一对等量异号电荷距离较远，则 M 点的场强方向向左，故B正确； M 点和 O 点位于两等量异号电荷的等势线上，即 M 点和 O 点电势相等，所以将一带正电的点电荷从 M 点移动到 O 点，电场力做功为零，故C错误； L 点的电势低于 N

点电势，则将一带正电的点电荷从L点移动到N点，电场力做功不为零，故D错误。

4. (2023 新课标, 25, 14 分) 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；

[答案]8:1

[解析]设油滴 a、b 的质量分别为 m_a 、 m_b ，半径分别为 r_a 、 r_b ，密度均为 ρ ，两板间不加电压时，油滴 a、b 在重力和空气阻力的作用下做匀速运动，则对

$$a: m_a g = k r_a v_0 \quad (1)$$

$$m_a = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi r_a^3 \quad (2)$$

$$\text{对 } b: m_b g = k r_b \cdot \frac{1}{4} v_0 \quad (3)$$

$$m_b = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi r_b^3 \quad (4)$$

$$\text{' 联立 (1)(2)(3)(4) 得: } r_a = 2r_b \quad (5)$$

$$\text{联立 (2)(4)(5) 得: } m_a: m_b = 8:1 \quad (6)$$

(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]见解析

[解析]两板间加上上板为正极的电压后，两个油滴最终均以 $\frac{v_0}{2}$ 向下匀速运动，则油滴 a 开始时做减速运动，所受电场力向上，油滴 b 开始时做加速运动，所受电场力向下，故油滴 a 带负电，油滴 b 带正电。设两油滴所带电荷量的绝对值分别为 q_a 、 q_b ，匀强电场的场强为 E ，则两油滴匀速运动时，由平衡条件有对

a: $m_a g = kr_a \times \frac{v_0}{2} + q_a E$ ⑦ 对 b: $m_b g = kr_b \times \frac{v_0}{2} - q_b E$ ⑧ 联立①③⑤⑦⑧得:

$$q_a : q_b = 4 : 1$$