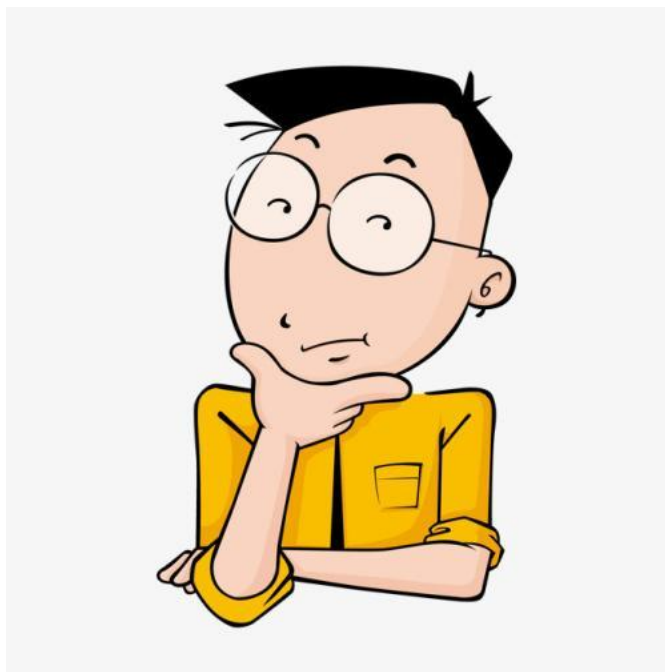


通过前面的学习，你觉得电场  
最突出的特性是什么？





# 换一个角度了解静电场

A red, jagged, starburst-like shape with multiple points, resembling a stylized explosion or a star, centered on the slide.

能量的角度



## § 8.3 环路定理



# 通过本次课的学习，您将学会：

- 静电场的环路定理
- 电势和电位能的概念
- 电势差

# 一、静电场力作功的特点：

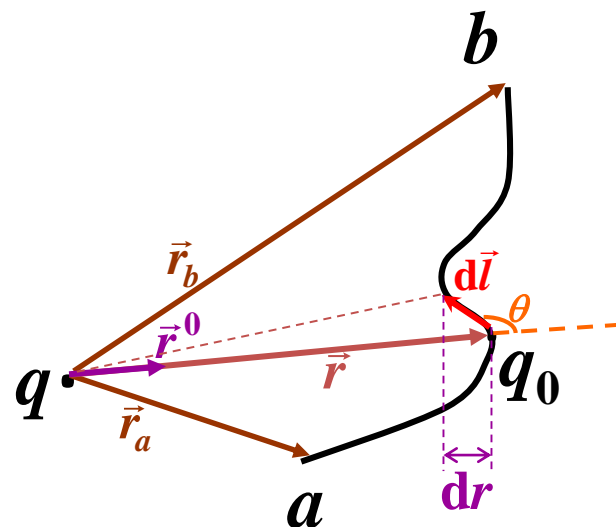
## 1. 点电荷 $q$ 的电场：

在大小为  $d /$  的这段位移中电场力所作功为：

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{l} = q_0 \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q_0}{r^2} \vec{r}^0 \cdot d\vec{l}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q_0}{r^2} dr$$





$q_0$  自  $a$  至  $b$  运动过程中电场力所作功为：

$$A = \int_a^b \mathbf{dA} = \int_{r_a}^{r_b} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q_0}{r^2} \mathbf{dr} = \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right)$$

——与路径无关。



## 2. 点电荷系的电场:

$$\left. \begin{aligned} \vec{E} &= \sum \vec{E}_i \\ \mathrm{d}A &= \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = q_0 \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \mathrm{d}A = q_0 (\sum \vec{E}_i \cdot \mathrm{d}\vec{l})$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow A &= \int_a^b \mathrm{d}A = q_0 \int_a^b \sum \vec{E}_i \cdot \mathrm{d}\vec{l} \\ &= q_0 \left( \int_a^b \vec{E}_1 \cdot \mathrm{d}\vec{l} + \int_a^b \vec{E}_2 \cdot \mathrm{d}\vec{l} + \cdots \right) \\ &= \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \sum q_i \left( \frac{1}{r_{ia}} - \frac{1}{r_{ib}} \right) \quad \text{——与路径无关。} \end{aligned}$$

静电场力为保守力，静电场为保守力场。



从场的角度如何表示静电场是保守力场





## 二、静电场环路定理：

静电场力做功与路径无关可表示为：

$$\left. \oint_L \vec{F} \cdot d\vec{l} = q_0 \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \right\} \Rightarrow \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

$q_0 \neq 0$

$$\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

——静电场的环路定理

静电场是保守场



# 静电场的特点

高斯定理： $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \sum q_{i\text{内}} / \epsilon_0$  静电场是有源场

环路定理： $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$  静电场是保守力场

**有源性**：静电场不能脱离静止电荷而单独存在，静止电荷是静电场的源。

**保守性**：在静电场中，电场矢量的线积分与积分路径无关。



从能量的角度如何表述静电场

### 三 电位能

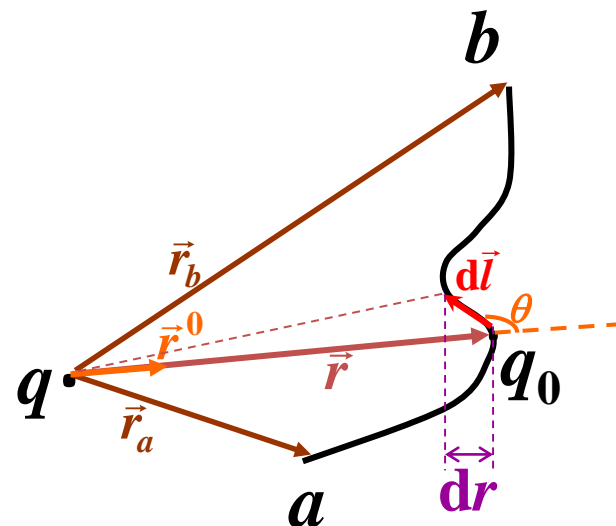


#### 1. 电场力的功与电位能的关系：

设：  $q_0$  自  $a$  运动至  $b$  过程中电场力作功为  $A$ ，始末位置的电位能为  $W_a$ 、 $W_b$ ：

$$\begin{aligned} A &= -\Delta W \\ &= -(W_b - W_a) \end{aligned}$$

$$q_0 \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = W_a - W_b$$





## 2. 电位能定义(操作性) :

$$W_a = q_0 \int_a^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

势能零点位置

试验电荷在电场中某点的电位能，在数值上等于把此试验电荷从该点移到势能零点处电场力所作的功。



具有质量的物体，处于重力场中，具有重力势能

$$mgh$$

带有电量的电荷，处于静电场中，具有电位能

$$W_a = q_0 \int_a^* \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

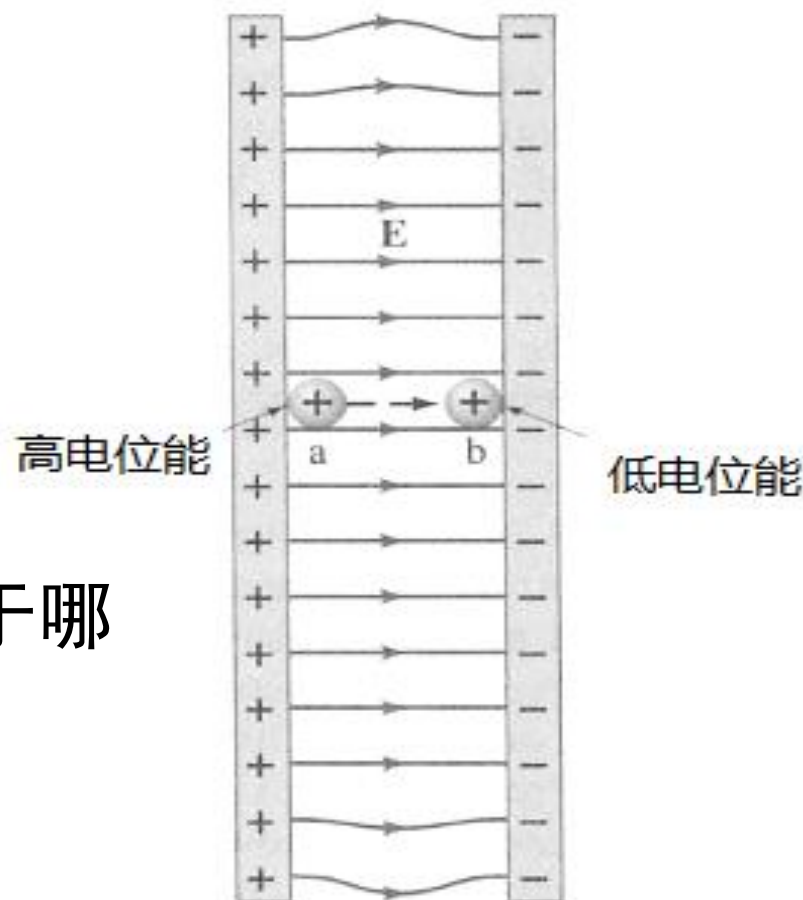


## 关于电位能的说明:

- (1) 电位能与势能零点的选取有关, 电位能差值与势能零点选取无关。
- (2) 电荷在某一点P的电位能, 等于电荷从P点运动到势能零点, 电场对电荷作的功。
- (3) 电荷由P点运动到Q点, 电场对电荷所做的功等于电位能的减少。
- (4) 电位能的单位: 焦耳 = 库仑·伏特。
- (5) 电位能与其它势能一样, 属于系统。

电荷处于电场中，  
就会具有电位能。

如果换成负电荷，负电荷位于哪  
里电位能高？



在一个电场中，电荷电位能的大小不仅跟电场有关，  
而且与电荷的正负也有关系。





## 四、电位 电位差

### (一) 电位：

1. 定义： 静电场中某点 $a$ 的电位：

$$U_a = \frac{W_a}{q_0} = \int_a^* \vec{E} \cdot d\vec{l}$$



## 2. 物理意义:

$$q_0 = 1\text{ C} \Rightarrow U_a = W_a$$

电场中某点的电位在数值上等于单位正电荷在该点的电位能。

也等于把单位正电荷从该点移到电位能零点时电场力作的功。

**电位仅由产生电场的电荷决定，  
与实验电荷无关！**



### 3. 说明:

- (1) 电位是一个标量，但是有正负，单位是“伏特(V)”
- (2) 电位是一个相对的量，其值取决于零电位点的选取。

理论计算中:

- A. 若电荷空间有限，取： $U|_{r=\infty} = 0$
- B. 若电荷空间无限，选有限空间一点。
- C. 电位在参考点有意义。

实际应用中： 地球、仪器外壳等



## (二) 电势差:

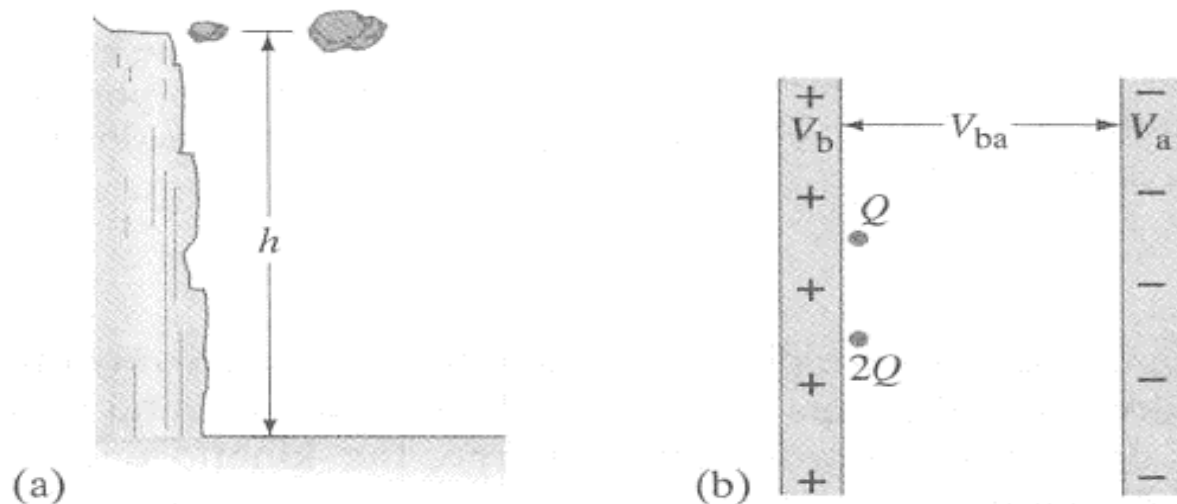
1. 定义: 静电场中任意两点  $a$ 、 $b$  的电势的差。

$$\begin{aligned} U_{ab} &= U_a - U_b = \int_a^* \vec{E} \cdot d\vec{l} - (-\int_*^b \vec{E} \cdot d\vec{l}) \\ &= \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \rightarrow \quad = \frac{q_0 \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}}{q_0} = \frac{A}{q_0} \end{aligned}$$

2. 物理意义:

静电场中任意两点  $a$ 、 $b$  间的电势差等于把单位正电荷从  $a$  移到  $b$  时电场力所作的功。

3. 单位: 伏特 (v)



质量大的势能大， $h$ 越大势能越大；

(Potential energy)

电量大的电势能大，电势差越大电势能越大；

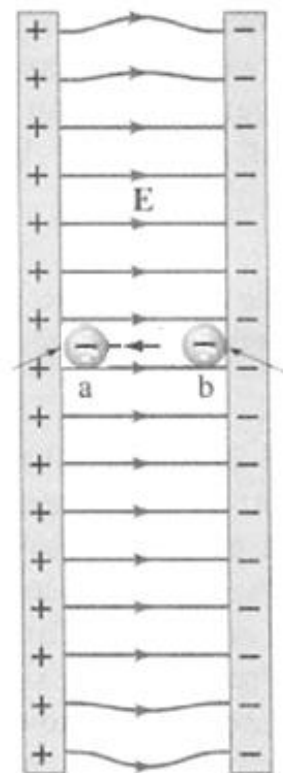
(electric potential energy)

电势能的大小与电荷的正负有关



设一个负电荷（比如一个电子），放置在b点。如果电子能够自由移动，它的电势能是增加还是减少？它所处位置的电势怎么变化？

- ☐ A 电势能减小，电势减小
- ☒ B 电势能减小，电势增加
- ☐ C 电势能增大，电势增大
- ☐ D 电势能增大，电势减小





静电场中电场对电荷的力： $\vec{F} = q \vec{E}$

静电场中电荷具有的势能(电势能)： $W_a = q_0 U_a$

静电场中电场对电荷所做的功：

$$A = W_a - W_b = q_0 U_a - q_0 U_b = q_0 U_{ab}$$







本部分的学习目标，您掌握了吗？

- 静电场的环路定理
- 电势和电位能的概念
- 电势差