

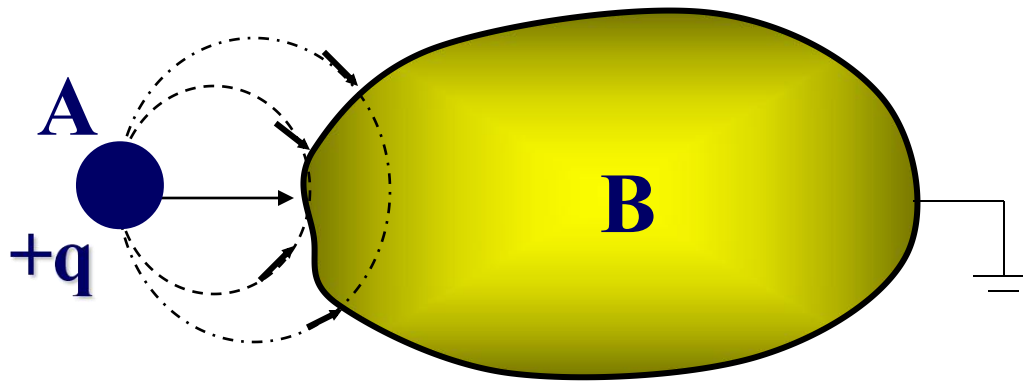
讨论课：导体静电平衡问题

讨论：静电场中的导体 —— 约束物理系统

- 约束物理系统 —— 额外条件带来的复杂性
- 静电场下的问题，不适合动态问题

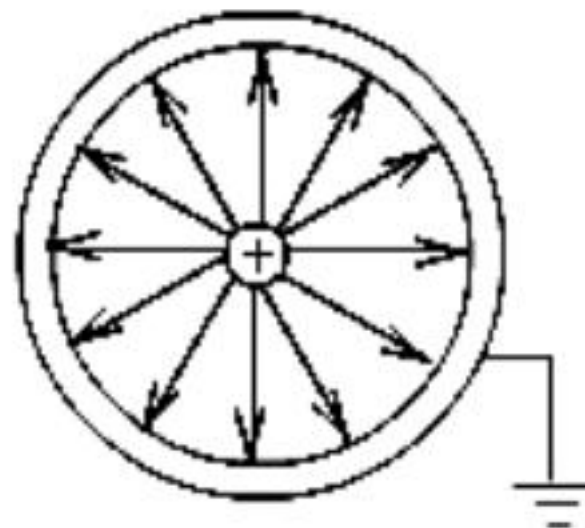
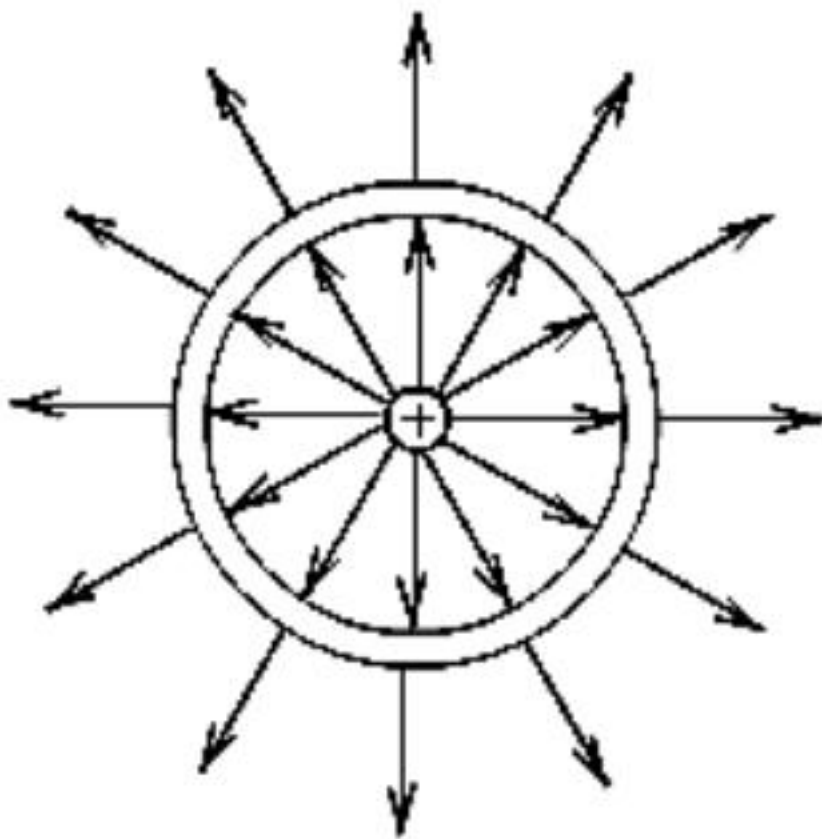
额外条件带来的朴素直觉失效 —— 建立新的正确物理直觉。

1、证明导体**B**接地，则**B**上不存在带正电的感生电荷。

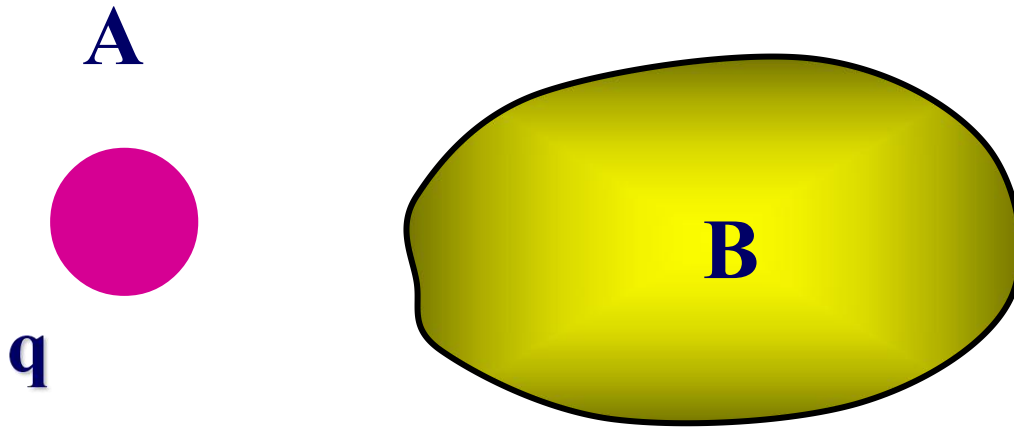


关键是导体的等电势性质和电力线的电势下降趋势

外表面接地，感应电荷消失

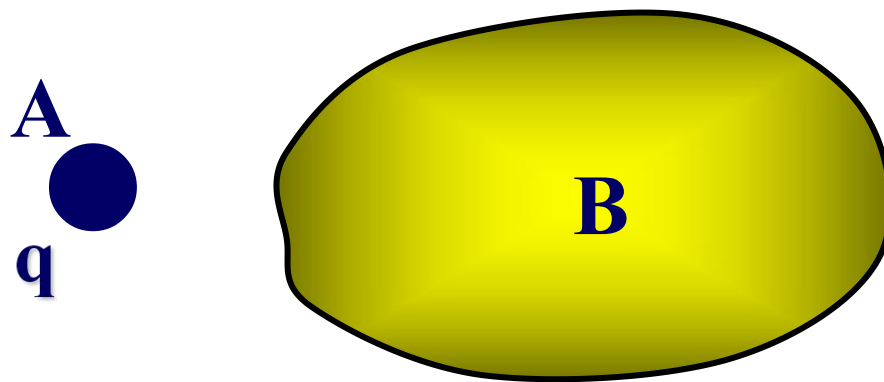


2、证明导体A上不存在带负电的感生电荷。



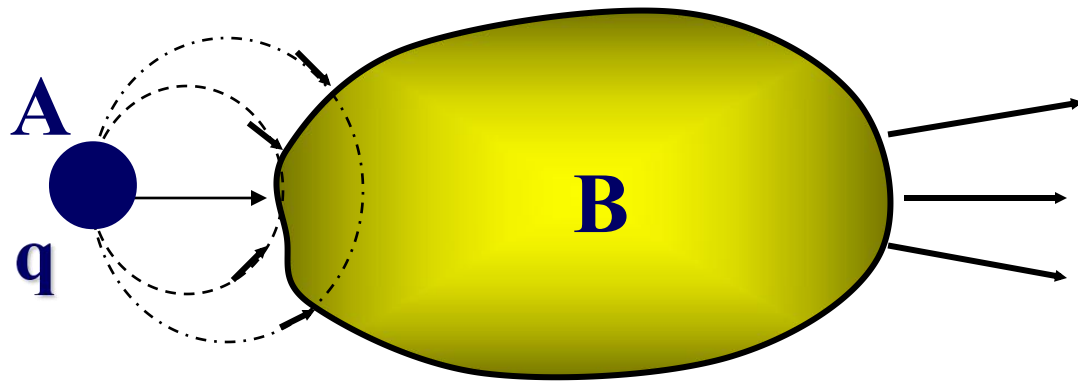
关键是电力线的电势关系及其自洽性

3、证明导体B电势大于零。



关键是导体的等电势性质和电力线的电势下降趋势

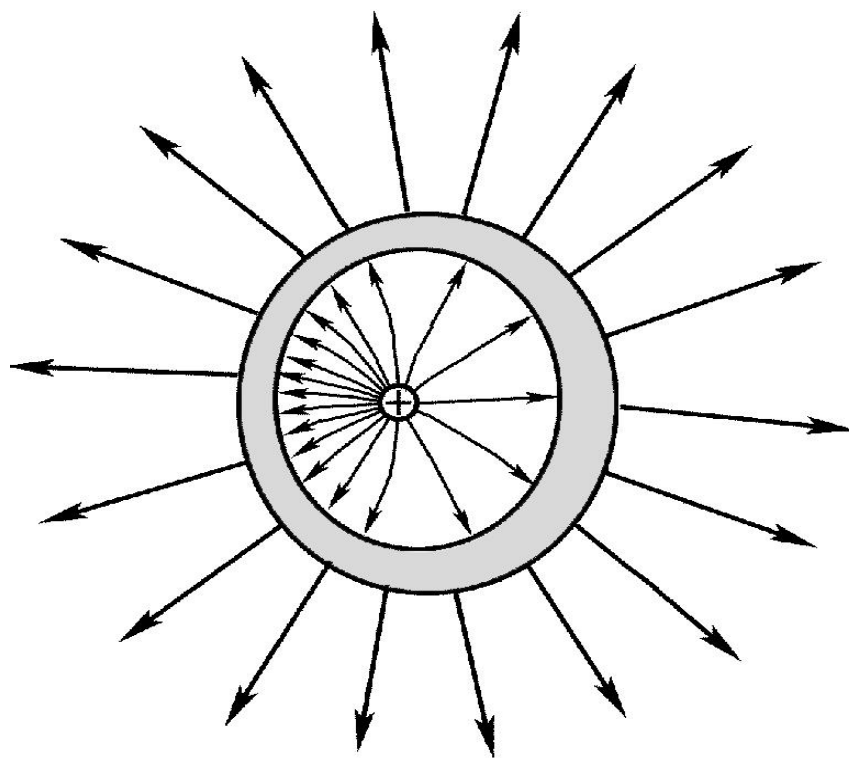
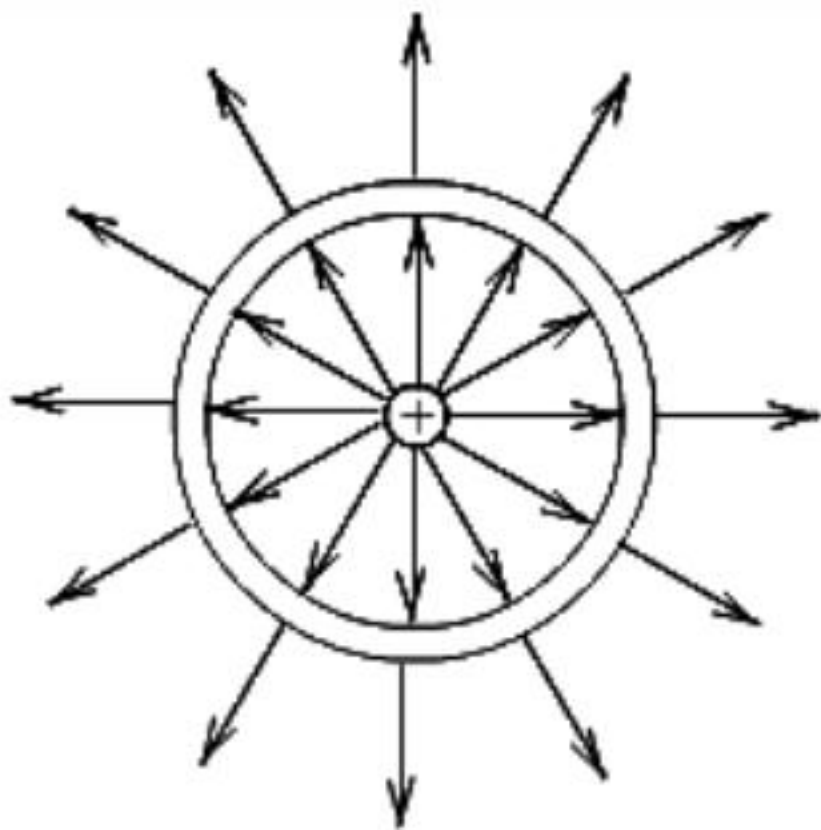
4、证明电磁感应现象中，导体B左端的感生负电荷绝对值 q' 小于等于施感电荷 q （ $q>0$ ）。



利用电力线和电荷正比的性质加以讨论。
其它证明方法？

关键是**B**左端感生负电荷接受电力线的起源

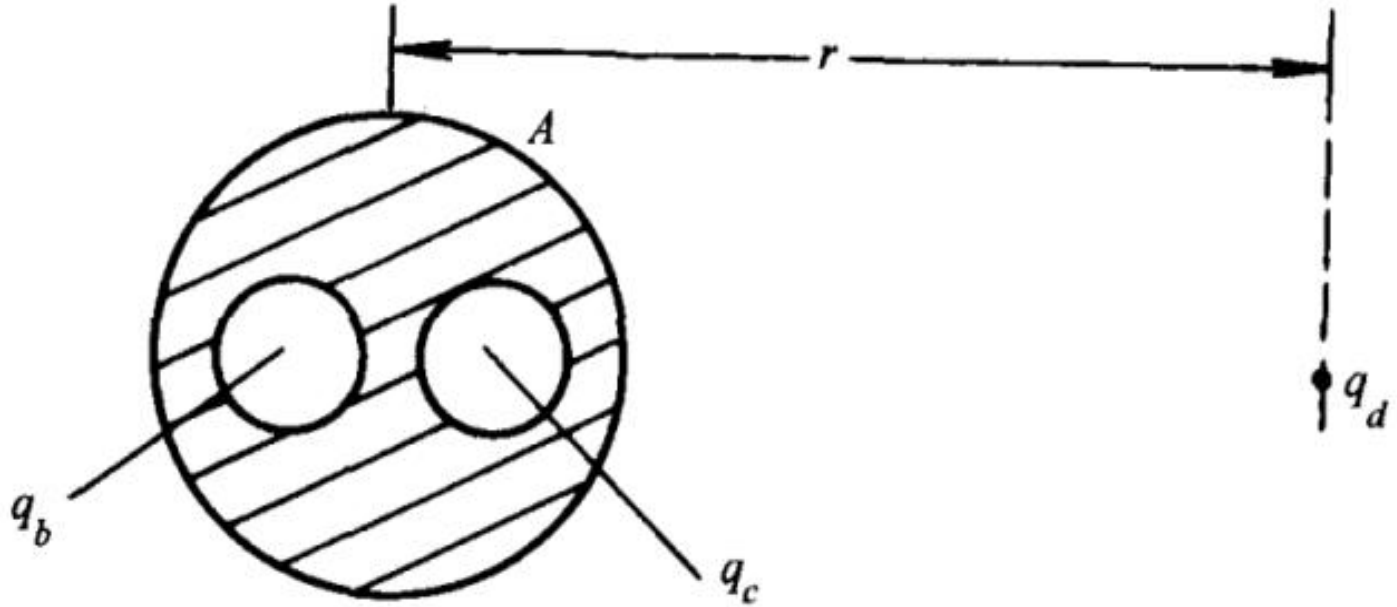
思考：导体空壳内电荷位置的改变是否影响导体外部的电场？



如图所示，在金属球A内有两个球形空腔，此金属球整体不带电，在两空腔中心各放置一个点电荷 q_b 和 q_c 。此外在金属球A之外远处放置一个点电荷 q_d （ q_d 至A中心的距离为 r 远大于球A的半径 R ）。

求：

- ①作用在A、 q_b 、 q_c 、 q_d 四物体上的静电力是多少？
- ②点电荷 q_d 和点电荷 q_b 、 q_c 的静电力分别是多少？
- ③如果 q_d 电荷至A中心的距离 r 和球A的半径 R 相当， q_d 电荷在金属球上感应电荷在球心产生的电场强度是多少，此时金属球的总电势是多少？
- ④如果 q_d 电荷至A中心的距离 r 和球A的半径 R 相当， q_d 电荷与带电金属球A之间的静电力是多少？



解: 利用电荷守恒定律和导体中平衡状态下的电荷分布, 可得 q_b 空腔内表面出现的感应电荷为 $-q_b$, q_c 空腔内表面出现的感应电荷为 $-q_c$, 金属球外表面的电量为 q_b+q_c . 由于 q_d 至A中心的距离为 r 远大于球A的半径 R , 所以A相对于 q_d 可以看成点电荷. 利用库仑定律可知, 作用在 q_d 上的静电力大小为

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(q_b + q_c)q_d}{r^3} \vec{r}$$

作用在A上的静电力大小为

由于静电屏蔽效应, 作用在 q_b 和 q_c 上的静电力为零.

利用库仑定律, 点电荷 q_d 和点电荷 q_c 之间的静电力大小是

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_c q_d}{r^3} \vec{r}$$

q_d 电荷和金属球上感应电荷在球心产生的电场强度是 $\vec{E}_{\text{感}} + \vec{E}_{q_d} = 0$

如果 q_d 电荷至A中心的距离 r 和球A的半径 R 相当, A相对于 q_d 电荷不再是点电荷, q_d 在金属球上将会由于静电感应改变A表面的电荷分布. 但是, 此时金属球表面电荷总电荷还是 q_b+q_c . 利用金属球中心的电场强度为零的静电屏蔽条件, 得到

$$\vec{E}_{\text{感}} = -\vec{E}_{q_d} = -\frac{q_d}{4\pi\epsilon_0 r^3} \hat{r}$$

利用电势相加特性, 当电势零点取为无穷远时, 金属球的总电势为金属球外表面电荷 q_b+q_c 在A中心产生的电势和 q_d 在A中心产生的电势之和, 为

$$V = V_{q_d} + V_{q_c+q_b} = \frac{q_d}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{(q_b + q_c)}{4\pi\epsilon_0 R}$$

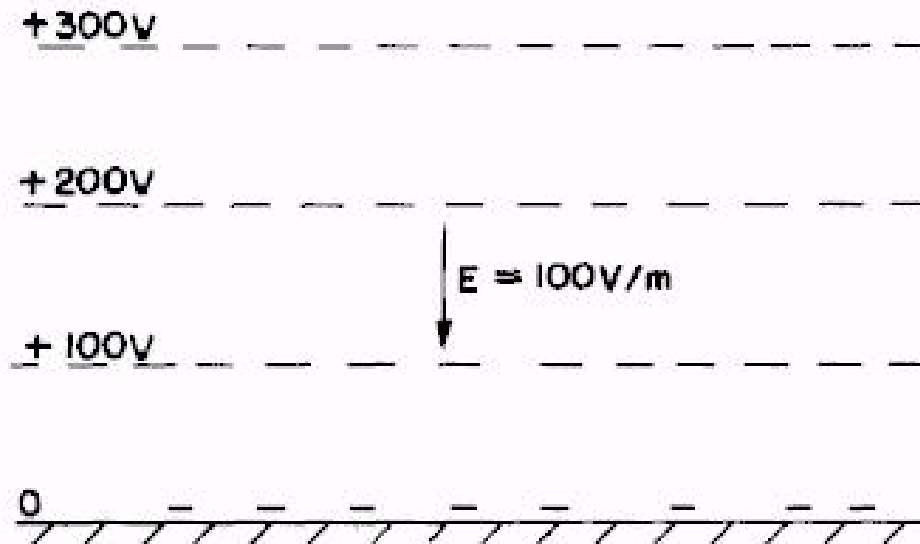
约束系统的物理分析

- 利用基本物理定理 — 高斯定理、环路定理
- 利用物理约束条件
- 利用叠加原理对复杂问题的空间进行分割、
叠加

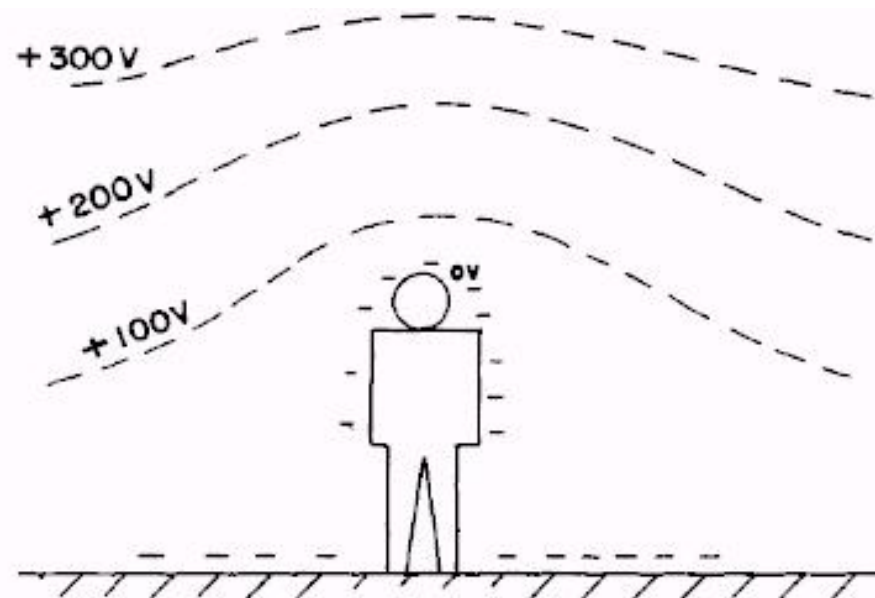
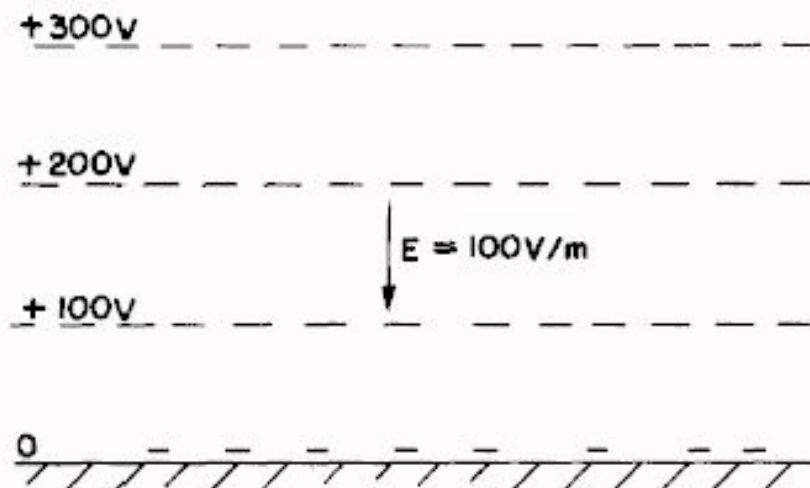
思考和应用

思考（1）：大气电场

在空气中有一个竖直的130伏/米的电场，方向指向地面。在室外，在你的鼻子的高度上就有高与你脚下约200伏电势差！为什么我们上街时，不会受到电击呢？



大气电场



由于大气的电场是指向地面的，所以地球表面必然带有负电，若大气电场按照 $E=100\text{V/M}$ 计算，地球表面单位面积上所带电荷会为

$$\sigma = \epsilon_0 E \approx -1 \times 10^{-9} (\text{C/m}^2)$$

地球表面带的负电荷约为：

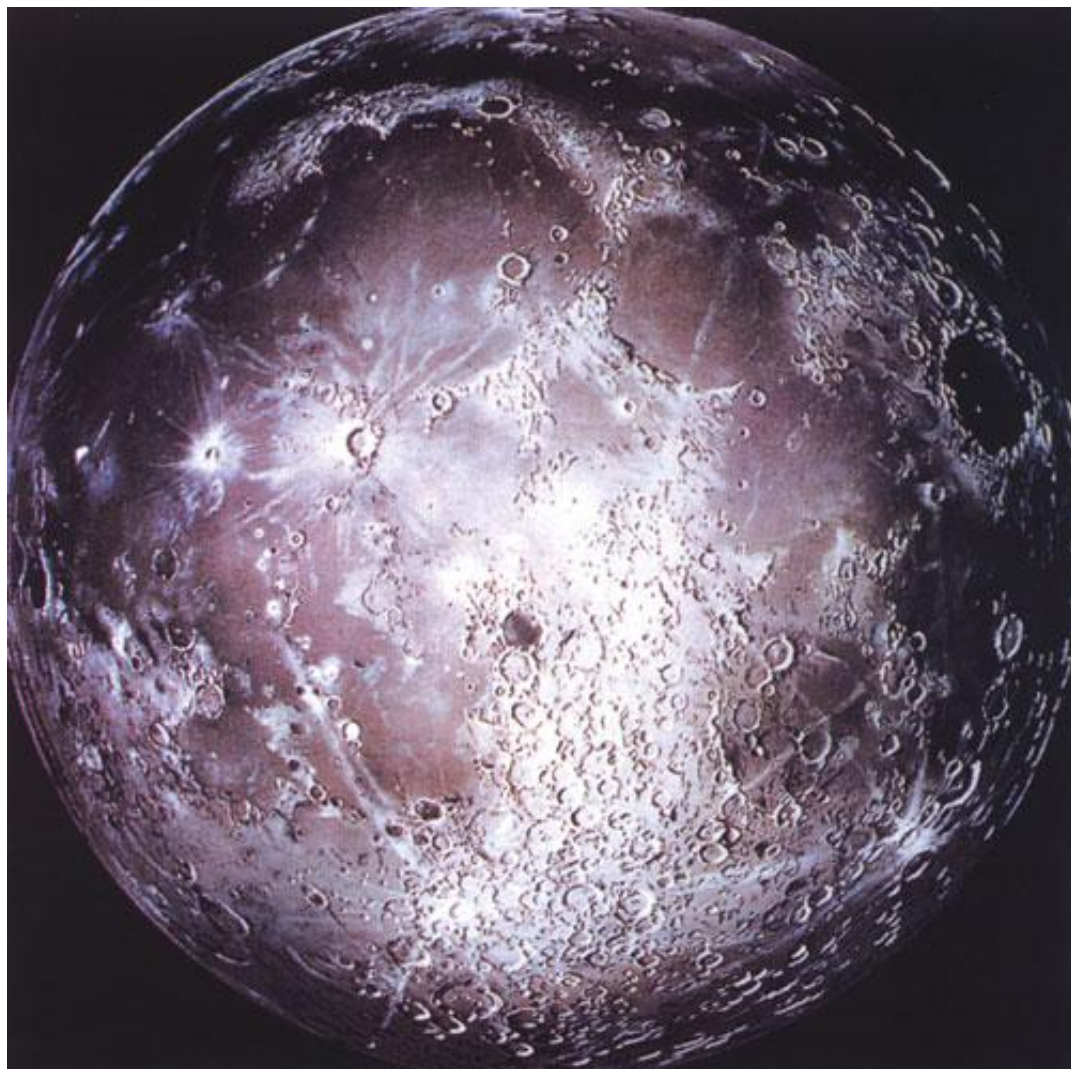
$$Q = 4\pi R_E^2 \sigma \approx -5 \times 10^5 \text{ C}$$



思考：如何测量到大气电场？

思考（2）：月球表面静电荷

加州大学伯克利分校的**J. Halekas**在**1998**年月球登陆车的资料中结果发现：月球表面可以聚集起大量静电荷，静电压高达**4500伏/米？**。



月球表面大量静电荷会带来什么现象？

《尘屑》：

著名科幻作家哈尔·克莱门特的科幻小说《尘屑》描述了两个宇航员降落到月球环形山，对月球进行科学考察的过程。在书中，有一段主人公关于这种科学预言的令人印象深刻的谈话：

一位宇航员首先问到：“月球表面的物质是最肮脏的导电物质，月表的灰尘不停地扬起又落下，因为这种运动摩擦，所以它们通常都是带电的。当灰尘带上电荷，将会发生什么事情呢？”

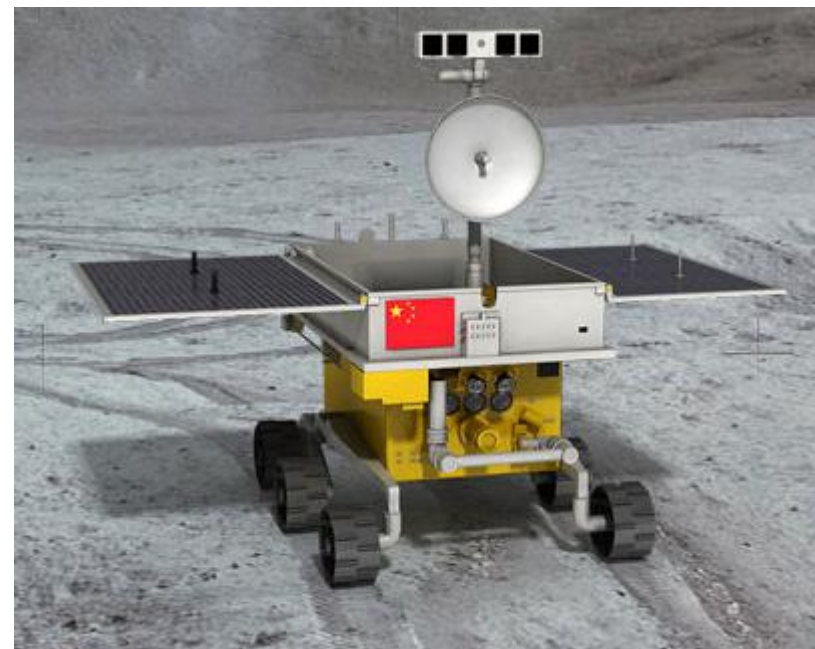
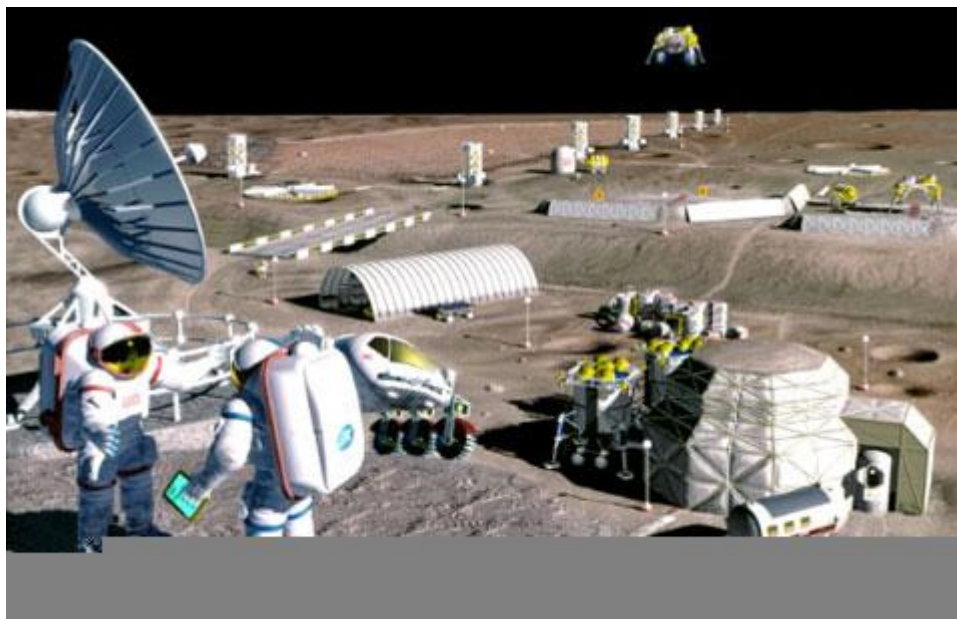
另一位宇航员回答：“灰尘颗粒们会相互排斥。”提问者继续问到：“如果一个周长绵延数百公里、边缘高达几公里的环形山都带上电荷，那将会怎样呢？”

科幻小说作者凭借自己超凡的想像力描绘出的答案是：那些灰尘将会在静电作用下，像一座巨型的喷泉一样，在阳光上升腾不止。

静电喷泉

哈尔·克莱门特描述出来的幻想情节，与后来太空观测的情景相一致。人们感到惊讶的是：于1972年乘坐阿波罗17号飞船环月飞行的宇航员们所见到的奇观：在月球上的日出与日落的前后10秒钟之内，宇航员们反复看到了被他们叫作“丝带”、“白帘”或者“晨曦”的光幕。这正是静电喷泉！

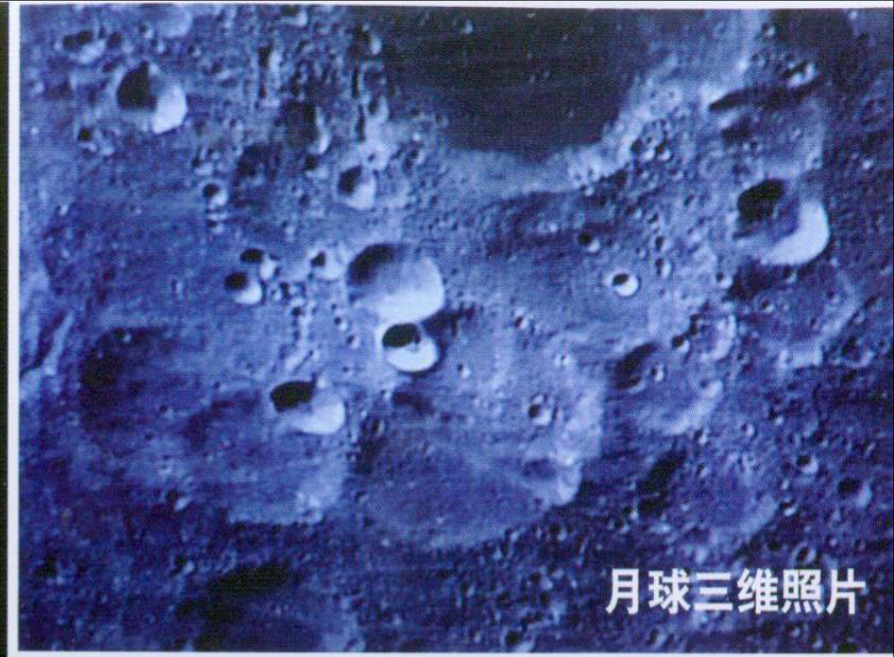




玉兔号

思考：月球表面为什么存在静电荷，嫦娥登月计划如何应对可能存在的静电场？

谢谢！



月球三维照片

