

金属球在电场中一定能达到静电平衡吗

韩 鹏 郭雪鹏

(安徽省临泉第一中学 安徽 阜阳 236400)

(收稿日期:2017-01-01)

摘 要:金属球置于电场中,将很快达到静电平衡状态.若外界电场强度很大,还能达到静电平衡状态吗?根据经典电动力学,求出外界最大电场 $E = \frac{4neR}{9\epsilon_0}$, R 为金属球半径, n 为金属球自由电子数密度.通过数值估计,金属球在电场中能够达到静电平衡状态.

关键词:匀强电场 静电平衡 静电感应

1 提出问题

金属球置于匀强电场,金属球内部自由电子发生定向移动,最终金属表面分布感应电荷.金属球内部,感应电荷产生的电场与外界电场抵消,内部电场为零.如果外界电场强度很大,是否存在感应电荷量不足,金属球无法达到静电平衡的可能?

2 建立模型

设金属球半径为 R ,金属球原来不带电,即带电荷量 $Q = 0$,将该金属球置于匀强电场 E 中.

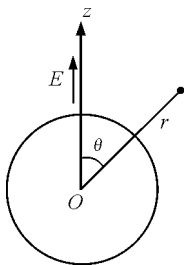


图1 金属球处在匀强电场中

以球心为坐标原点,令外电场 $\mathbf{E} = E\mathbf{e}_z$.可以看出,电势具有 z 轴对称性,取原点电势为零,由经典电动力学,可以求得^[1]

$$\varphi = -Er \cos \theta + \frac{ER^3}{r^2} \cos \theta \quad (1)$$

金属球表面感应电荷面密度为

$$\sigma(\theta) = 3\epsilon_0 E \cos \theta \quad (2)$$

$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$, $\sigma > 0$, 分布正电荷; $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$, $\sigma <$

0, 分布负电荷.感应负电荷总量为

$$Q_{\text{感}} = \left| \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \sigma(\theta) \cdot 2\pi R^2 \sin \theta d\theta \right| = 3\pi R^2 \epsilon_0 E \quad (3)$$

金属球中自由移动的电荷为电子,金属球若达到静电平衡状态,感应负电荷量不大于金属球中所有电子的电荷量,有

$$Q_{\text{感}} \leq \frac{4}{3} \pi R^3 ne \quad (4)$$

利用式(3)和(4)得

$$E \leq \frac{4neR}{9\epsilon_0} \quad (5)$$

式中 n 为金属球的自由电子数密度,约 10^{22} cm^{-3} ^[2], $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$.若 R 取 $1 \mu\text{m}$,最大电场强度 E 约为 10^{13} N/C ,这是一个很强的电场强度,可以和原子内的场强作一对比.原子半径大约为 10^{-10} m ,对于氢原子,由点电荷电场强度公式,不难估算出氢原子中电场强度为 10^{11} N/C .一般实际的金属球半径 R 为厘米数量级,由式(5)可知,这时对应的场强将达到 10^{17} N/C ,如果给导体加上一个这样的电场,导体将会瓦解.

3 结论

目前实验室中产生的电场强度无法和原子中的电场相比,将宏观尺度的导体放到电场中,导体都将迅速达到静电平衡状态.

参考文献

- 林璇英,张之翔.电动力学题解(第2版).北京:科学出版社,2007.114 ~ 117
- 阎守胜.固体物理基础(第3版).北京:北京大学出版社,2011.5