

[美]F. W. SEARS 等著

大学物理学

第三册

习题解答

人民教育出版社

[美] F. W. Sears 等著

大 学 物 理 学

第 三 册

习 题 解 答

祝瑞琪 叶善专 等编

人 民 教 育 出 版 社

本书将F. W. Sears等著《大学物理学》(第五版)中译本中的习题(除思考题外)全部作了解答,全书共分四册,第一册为力学习题解答,第二册为热学习题解答,第三册为电磁学习题解答,第四册为光学和原子物理学习题解答。

本书主要供电视大学及有关高等学校教师与辅导人员内部参考。

本书责任编辑:奚静平。

[美] F. W. Sears 等著

大学物理学

第三册

习题解答

祝瑞琪 叶善专 等编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 8.5 字数 200,000

1980年1月第1版 1980年8月第1次印刷

印数 00,001-105,900

书号 13012·0430 定价 0.63元

(教师用书)

编者的话

本书将 F. W. Sears 等著《大学物理学》(第五版)中译本中第二十四章至第三十七章习题(除思考题外)全部作了解答。为了更好地配合原书的使用,在解答过程中,我们注意了以下几点:

1. 习题的解法力求逻辑严密、步骤简练,但为了结合习题所在章节的教学内容,对有多种解法的题目,我们只用了该章教学内容所要求的解法,因此不一定是最佳解法。

2. 所用公式、符号及解题格式,力求与原书一致。

3. 单位换算均采用原书所附“换算因子”表中所列的数据,答案一般取三位有效数字。

由于解答工作是在很短时间内仓促完成的,难免有不妥或错误的地方,敬希读者指正。

参加本册题解工作的人员有:蒋福明、祝瑞琪、陈小凤、马见慈、柯景凤、叶善专、舒素珍、洪谊、陈未名、谈漱梅、方佩瑾(以解题章节先后为序)。由祝瑞琪、叶善专负责定稿。

编者

1979年12月

目 录

第二十四章	库仑定律	1
第二十五章	电场 高斯定律	14
第二十六章	电位	37
第二十七章	电容 电介质的性质	69
第二十八章	电流 电阻 电动势	88
第二十九章	直流电路及仪表	106
第三十章	磁场	148
第三十一章	作用在载流导体上的磁力	162
第三十二章	电流的磁场	173
第三十三章	感生电动势	188
第三十四章	电感	213
第三十五章	物质的磁性	226
第三十六章	交流电	238
第三十七章	电磁波	258

第二十四章 库仑定律

24-1 两个小球相距 3cm, 设两个小球间的排斥力为 10^{-19}N , 每个小球上必须具有多少个过剩电子?

解 由 $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}$ 得

$$\begin{aligned} q &= r \left(\frac{F}{1/4\pi\epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 3 \times 10^{-2} \left(\frac{10^{-19}}{9 \times 10^9} \right)^{\frac{1}{2}} = 10^{-16} \text{C} \\ n &= \frac{10^{-16}}{1.6 \times 10^{-19}} = 625 \end{aligned}$$

24-2 两个小球都带有正电荷, 总电量为 $4 \times 10^{-8}\text{C}$, 倘若它们相距 0.1 m 时, 相互排斥力为 $27 \times 10^{-5}\text{N}$, 试求每个小球上所带的电荷.

解 由 $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 得

$$\begin{aligned} q_1 q_2 &= \frac{F r^2}{1/4\pi\epsilon_0} \\ &= \frac{27 \times 10^{-5} \times 0.01}{9 \times 10^9} = 3 \times 10^{-16} \text{C} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{又 } q_1 + q_2 = 4 \times 10^{-8} \text{C} \quad (2)$$

由(1), (2)式得

$$\begin{aligned} q_2 &= \frac{4 \times 10^{-8} \pm (16 \times 10^{-16} - 12 \times 10^{-16})^{\frac{1}{2}}}{2} \\ &= (2 \pm 1) \times 10^{-8} \text{C} \end{aligned}$$

本题有两种情况:

$$\begin{cases} q_1 = 10^{-8} \text{ C} \\ q_2 = 3 \times 10^{-8} \text{ C} \end{cases} \quad \begin{cases} q_1 = 3 \times 10^{-8} \text{ C} \\ q_2 = 10^{-8} \text{ C} \end{cases}$$

24-3 6.02×10^{23} 个单原子氢的原子总质量为 1 g, 当一个氢原子的电子和原子核间的吸引力等于原子的重量时, 电子应距原子核多远?

解 设每个原子的重量为 F_g , 电子与原子核之间距离为 r . 由 $F_e = kq^2/r^2$ 及 $F_e = F_g$ 得

$$\begin{aligned} r &= q(k/F_g)^{\frac{1}{2}} \\ &= 1.6 \times 10^{-19} \left(\frac{9 \times 10^9}{1 \times 10^{-3} \times 9.8 / 6.02 \times 10^{23}} \right)^{\frac{1}{2}} = 11.9 \text{ cm} \end{aligned}$$

24-4 在 1 mol 的氢原子中, 所有的质子具有多少库仑的正电荷?

解 $Q = eN = 1.6 \times 10^{-19} \times 6.02 \times 10^{23} = 9.63 \times 10^4 \text{ C}$

24-5 倘若 1 mol 氢原子的所有正电荷结成一单个电荷, 而所有的负电荷又集结成一个单个电荷, 当这两个电荷相距 a) 1 m; b) 10^7 m (与地球直径相比较) 时, 它们之间相互作用的力是多少?

解 由上题得 $Q = 9.63 \times 10^4 \text{ C}$

a) 当 $r = 1 \text{ m}$ 时

$$\begin{aligned} F &= k \frac{Q^2}{r^2} \\ &= 9 \times 10^9 \frac{(9.63 \times 10^4)^2}{1^2} = 8.35 \times 10^{19} \text{ N} \end{aligned}$$

b) 当 $r = 10^7 \text{ m}$ 时

$$F = k \frac{Q^2}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{(9.63 \times 10^4)^2}{(10^7)^2} = 8.35 \times 10^5 \text{ N}$$

24-6 一个 α 粒子是由两个质子和两个中子结合而成的, 当两个 α 粒子相距 10^{-15} m 时, 它们之间的排斥力是多少?

解 每个 α 粒子带电量 $Q = 2|e| = 2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$F = k \frac{Q^2}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{(3.2 \times 10^{-19})^2}{(10^{-15})^2} = 921.6 \text{ N}$$

24-7 两个铜球, 各自的质量为 1 kg, 相距 1 m. a) 每个铜球含有多少个电子? b) 从一个铜球必须将多少电子移至另一个铜球上, 可使它们间的引力为 10^4 N? c) 在上述情况下, 移去的电子占一个球上总电子数的几分之几?

解 a) 已知 $N_0 = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$, 铜的 $\mu = 63.6 \text{ g/mol}$, $Z_e = 29$, $M = 1 \text{ kg}$.

1 kg 的铜中含有的原子数为

$$N_1 = \frac{MN_0}{\mu}$$

$$= \frac{1 \times 6.02 \times 10^{23}}{63.6 \times 10^{-3}} = 9.45 \times 10^{24}$$

每个铜原子周围有 29 个电子, 1 kg 铜球中的总电子数为

$$N = Z_e N_1 = 29 \times 9.45 \times 10^{24} = 2.73 \times 10^{26}$$

b) 若移去 N_2 个电子, 对应电量为 $q = N_2|e|$, 一个铜球失去 N_2 个电子而带正电, 另一个获得 N_2 个电子而带负电, 它们之间相互吸引力为

$$F = k \frac{(N_2 e)^2}{r^2}$$

$$N_2 = \frac{r}{e} \left(\frac{F}{k} \right)^{\frac{1}{2}}$$

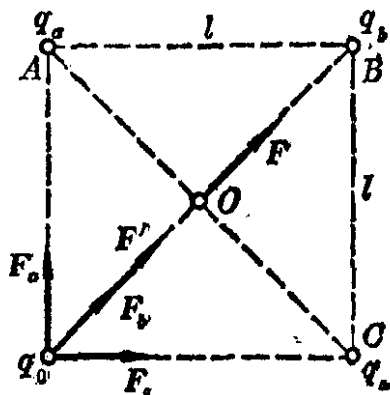
$$= \frac{1}{1.6 \times 10^{-19}} \left(\frac{10^4}{9 \times 10^9} \right)^{\frac{1}{2}} = 6.58 \times 10^{15}$$

c) 移去的电子数 N_2 与总电子数 N 之比为

$$\frac{N_2}{N} = \frac{6.58 \times 10^{15}}{2.73 \times 10^{26}} = 2.4 \times 10^{-11}$$

24-8 一正方形, 边长为 0.20 m, 在三个角上各置放了一个 $2 \times 10^{-9} \text{ C}$ 的点电荷, 试求作用在另一个点电荷 $-1 \times 10^{-9} \text{ C}$ 上的合力大小和方向, 如果这个点电荷放在 a) 正方形的中心; b) 正方形空出的那一角.

解 设 $q_a = q_b = q_c = 2 \times 10^{-9} \text{ C}$, 位于图中的 A、B、C 点, $q_0 = -1 \times 10^{-9} \text{ C}$, $l = 0.20 \text{ m}$.



题 24-8 图

a) q_0 位于 O 点时, q_a 与 q_c 对 q_0 的吸引力大小相等, 方向相反, 结果 q_0 受到各电荷作用力的合力仅是 q_b 对它的吸引力, 即

$$\begin{aligned} F &= k \frac{q_0 q_b}{OB^2} = \frac{2k q_0 q_b}{l^2} \\ &= \frac{2 \times 9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-9} \times 10^{-9}}{0.2^2} = 9 \times 10^{-7} \text{ N} \end{aligned}$$

F 的方向指向 B 点, 如图所示.

b) 若 q_0 位于 D 点, 受力情况如图所示. 考虑对称性, 合力 F' 的方向指向 B 点, F' 的大小为

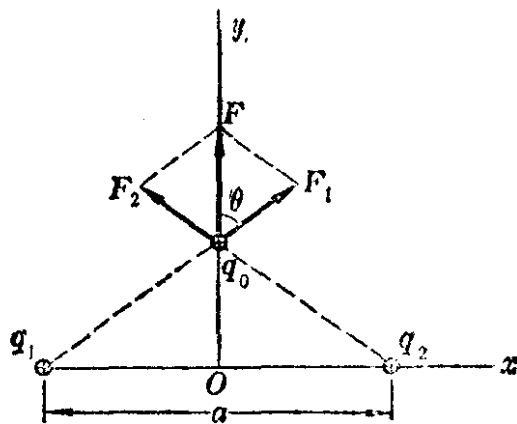
$$\begin{aligned} F' &= F_b + F_a \cos 45^\circ + F_c \cos 45^\circ \\ &= k \frac{q_0 q_b}{2l^2} + 2k \frac{q_0 q_a}{l^2} \cos 45^\circ \\ &= \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-18} \times 1.914}{0.2^2} = 8.6 \times 10^{-7} \text{ N} \end{aligned}$$

24-9 两个电量各为 $+10^{-9}\text{C}$ 的电荷, 在空气中相距 8cm , 假如第三个电荷的电量为 $+5 \times 10^{-11}\text{C}$, 且与前两个电荷各相距 5cm . 试求它们作用在第三个电荷上的力的数值和方向.

解 设 $q_1 = q_2 = 10^{-9}\text{C}$, $q_0 = 5 \times 10^{-11}\text{C}$, $a = 8\text{cm}$, $b = 5\text{cm}$, F_1 和 F_2 的方向如图所示, 大小分别为

$$F_1 = k \frac{q_1 q_0}{b^2}$$

$$F_2 = k \frac{q_2 q_0}{b^2}$$



题 24-9图

又 $F_1 = F_2$, 所以合力 F 的大小为

$$\begin{aligned}
 F &= 2F_1 \cos \theta = 2k \frac{q_1 q_0}{b^2} \times \frac{\left(b^2 - \frac{a^2}{4}\right)^{\frac{1}{2}}}{b} \\
 &= \frac{2 \times 9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-11} \times 10^{-9} \times \left[(5 \times 10^{-2})^2 - (4 \times 10^{-2})^2\right]^{\frac{1}{2}}}{(5 \times 10^{-2})^3} \\
 &= 2.16 \times 10^{-7} \text{N}
 \end{aligned}$$

F 的方向与 y 轴正方向一致.

24-10 两个带正电的点电荷, 电量各为 q , 放置在 y 轴上 $y = +a$ 和 $y = -a$ 处. 第三个正电荷具有相同的电量放在 x 轴上某一点.

- 如果第三个电荷在坐标原点, 作用在它上面的力是多大?
- 如果第三个电荷的坐标为 x , 求它所受力的数值和方向.
- 设第三个电荷的 x 值处于 $+4a$ 和 $-4a$ 之间, 画出第三个电荷所受的作用力与 x 的函数关系曲线.

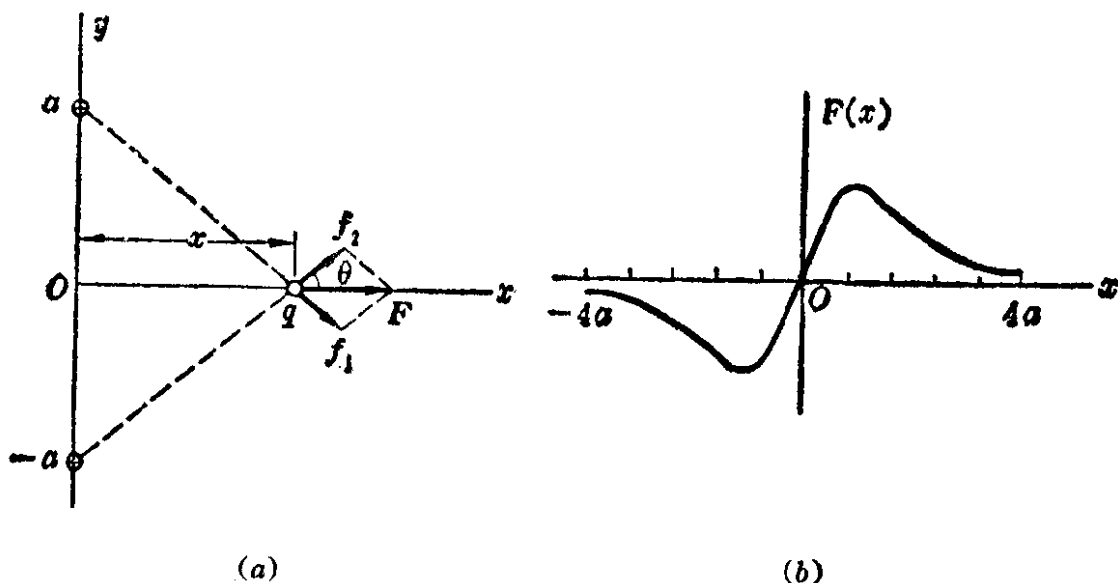
d) x 为何值时力最大?

解 a) 如第三个电荷放在原点, 受到的合力为零.

b) 如第三个电荷位于 x 轴上, 如题 24-10(a) 图所示. 受到第一和第二个电荷的作用力为 f_1 和 f_2 , 考虑对称性, 合力 F 的方向沿 x 轴正方向, 大小为

$$F = 2f_1 \cos \theta$$

$$= \frac{2kq^2 x}{(x^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$$



题 24-10 图

c) $F(x)$ 随 x 变化情况如题 24-10 (b) 图所示.

d) 由 $\frac{dF(x)}{dx} = 0$ 求出极大值的位置.

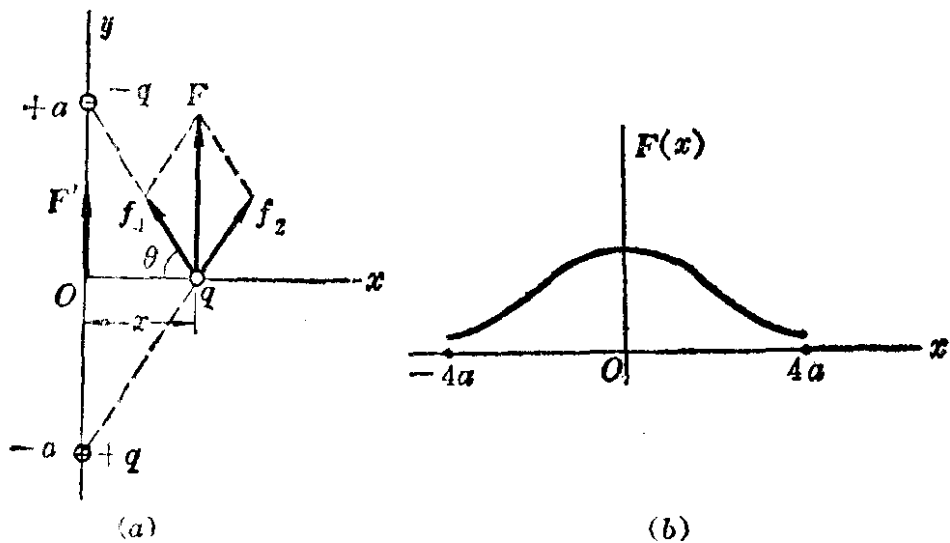
$$\frac{dF(x)}{dx} = \frac{d}{dx} \left[\frac{2kq^2 x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \right]$$

$$= 2kq^2 \frac{(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} - 3x^2(a^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}}{(a^2 + x^2)^3} = 0$$

得 $a^2 - 2x^2 = 0, \quad x = \pm \frac{\sqrt{2}}{2} a$

当 $x = \pm \frac{\sqrt{2}}{2} a$ 时, $F(x)$ 为最大.

24-11 电量为 q 的一个带负电的点电荷放置在 y 轴的一点, $y = +a$; 另一个具有相同电量的正电荷, 置于 $y = -a$ 处; 第三个具有相等电量的正电荷, 置于 x 轴的某一点.



题 24-11 图

- 当第三个电荷位于坐标原点时, 求它受力的大小和方向.
- 当第三个电荷位于坐标 x 处时, 求它所受的力.
- x 值处于 $+4a$ 和 $-4a$ 之间时, 试画出第三个电荷所受的力与 x 的函数关系曲线.

解 a) 第三个电荷位于坐标原点时, 合力的方向指向 $-q$, 合力的大小为

$$F' = 2f = 2k \frac{q^2}{a^2}$$

b) 如果第三个电荷位于 x 处, 合力 F 的方向与 y 轴正方向一致, 大小为

$$\begin{aligned} F &= 2f_1 \sin \theta \\ &= \frac{2kaq^2}{(x^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \end{aligned}$$

c) $F(x) \sim x$ 变化曲线如题 24-11(b) 图所示.

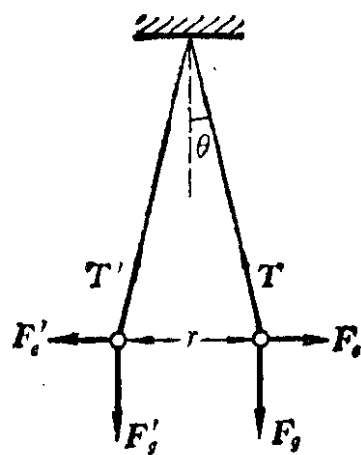
24-12 两个小球, 质量各为 10 g, 各用 1 m 长的丝线把它们悬

于同一点. 今若使两球带有等量的负电荷, 则每根线和铅直线成 4° 角.

a) 画出每个小球上所受的力;

b) 求各球上的电荷量.

解 a) 每个小球受力情况如图所示, 即受库仑斥力 F_e 、重力 F_g 和绳的拉力 T , 三力的合力为零.



题 24-12 图

b) 由三力的合力为零, 得

$$F_e = mgtg\theta$$

$$k\frac{q^2}{r^2} = mgtg\theta$$

$$\begin{aligned} q &= r\left(\frac{mgtg\theta}{k}\right)^{\frac{1}{2}} = 2l\sin\theta\left(\frac{mgtg\theta}{k}\right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 2 \times 1 \times \sin 4^\circ \left(\frac{10 \times 10^{-3} \times 9.8 \times \operatorname{tg} 4^\circ}{9 \times 10^9}\right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 1.2 \times 10^{-7} \text{ C} \end{aligned}$$

24-13 某种金属球, 体积为 1 cm^3 , 质量为 7.5 g , 含有 8.2×10^{22} 个电子.

a) 在两个这样的球中各需移去多少个电子, 方能使两球间的静电斥力恰好与它们之间的万有引力相平衡? 设两球之间的距离足够大, 以致可把球体视作点电荷.

b) 计算移去的电子数为总自由电子数的几分之几.

解 a) 已知 $m = 7.5 \text{ g}$, $N = 8.2 \times 10^{22}$, 两金属球各移去 N' 个电子后, 都带 $q = +N'e$ 电荷, 它们之间的万有引力和库仑斥力分别为

$$F_m = G\frac{m^2}{r^2}, \quad F_e = k\frac{q^2}{r^2}$$

由 $F_m = F_e$ 得

$$\begin{aligned}
 N' &= \frac{m}{e} \left(\frac{G}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \\
 &= \frac{7.5 \times 10^{-3}}{1.6 \times 10^{-19}} \times \left(\frac{6.67 \times 10^{-11}}{9 \times 10^9} \right)^{\frac{1}{2}} \\
 &= 4.04 \times 10^6
 \end{aligned}$$

b) 移去的电子数与总电子数之比为

$$\frac{N'}{N} = \frac{4.04 \times 10^6}{8.2 \times 10^{22}} = 4.9 \times 10^{-17}$$

24-14 在玻尔氢原子模型中, 电子质量为 $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, 它沿一半径为 $5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$ 的圆形轨道绕着一个质子回转, 质子的正电荷量和电子的负电荷量相等, 质子的质量为 $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

a) 电子的径向加速度是多少?

b) 电子的速度是多少?

c) 电子角速度是多少?

解 设 $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $r = 5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$.

a) 因为电子与质子之间的万有引力比之它们之间的库仑引力小很多, 这里只考虑库仑引力.

$$k \frac{e^2}{r^2} = m_e a_n$$

$$a_n = \frac{k e^2}{m_e r^2}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{9.11 \times 10^{-31} \times (5.29 \times 10^{-11})^2} = 9.1 \times 10^{22} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

b) 由 $a_n = v^2/r$ 得

$$v = (r a_n)^{\frac{1}{2}}$$

$$= (5.29 \times 10^{-11} \times 9.1 \times 10^{22})^{\frac{1}{2}} = 2.19 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

c) 由 $v = r\omega$ 得

$$\omega = v/r$$

$$= \frac{2.19 \times 10^6}{5.29 \times 10^{-11}} = 4.15 \times 10^6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

24-15 1 g 的单原子氢含有 6.02×10^{23} 个原子, 每一个原子由一个电量为 $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的电子和一个电量为 $+1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的质子所组成.

a) 假设这些电子都集中到地球的北极, 而质子都集中到南极, 那么它们之间的总引力是多大? 已知地球的直径为 12,800 km.

b) 如在赤道上放有第三个正电荷, 其电量与任一极上的总电荷量相等, 求 a) 中的电荷作用在这第三个电荷上的力的大小和方向, 并画出示意图.

解 $Q = 6.02 \times 10^{23} \times 1.6 \times 10^{-19} = 9.63 \times 10^4 \text{ C}$, $d = 1.28 \times 10^7 \text{ m}$, 电荷分布如图所示, 且 $l = d/\sqrt{2}$

a) 位于北极的 $-Q$ 与南极的 $+Q$ 之间的库仑引力为

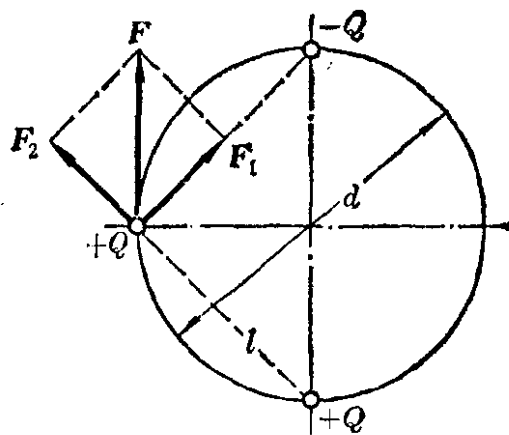
$$F = k \frac{Q^2}{d^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{(9.63 \times 10^4)^2}{(1.28 \times 10^7)^2} = 5.1 \times 10^5 \text{ N}$$

b) 位于赤道的 $+Q$ 受南极和北极上电荷的作用力为 F_2 与 F_1 , 方向如图, 二力大小相等, 每个力的数值为

$$F_1 = k \frac{Q^2}{l^2} = \frac{2kQ^2}{d^2}$$

合力 F 的大小为



题 24-15 图

$$F = \sqrt{2} F_1 = \frac{2\sqrt{2} kQ^2}{d^2}$$

$$= \frac{2 \times 1.41 \times 9 \times 10^9 \times (9.63 \times 10^4)^2}{(1.28 \times 10^7)^2} = 1.44 \times 10^6 \text{ N}$$

F 的方向指向北方.

24-16 原子核线度的数量级为 10^{-14} m , 假设两个 α 粒子相距这么远, 问

a) 每一个 α 粒子所受的作用力.

b) 每一个 α 粒子的加速度.

解 已知 $m_\alpha = 6.68 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $q = 2|e| = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$, $r = 10^{-14} \text{ m}$.

$$a) \quad F_a = k \frac{q^2}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{3.2^2 \times 10^{-38}}{10^{-28}} = 9.22 \text{ N}$$

$$b) \quad a = \frac{F_a}{m_\alpha}$$

$$= \frac{9.22}{6.68 \times 10^{-27}} = 1.38 \times 10^{27} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

24-17 a) 在习题 24-11 中, 当第三个电荷的 x 坐标远比距离 a 为大时, 试证明第三个电荷所受的作用力, 与这电荷到偶极子中点距离的三次方成反比.

b) 如果第三个电荷放在 y 轴上, 而它的 y 坐标远比距离 a 为大, 试证明第三个电荷所受的作用力, 也与它到偶极子中点的距离的三次方成反比.

证 a) 由习题 24-11(b) 得

$$F = \frac{2kaq^2}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

当 $x \gg a$ 时, $(x^2 + a^2)^{3/2} \approx x^3$

$$F = \frac{2kaq^2}{x^3}, \quad F \propto \frac{1}{x^3}$$

b) 如第三个电荷 q 在 y 轴上 y 处, q 受到 $-q$ 及 $+q$ 的作用力为 F_1 和 F_2 , 合力 F 的大小为

$$\begin{aligned} F &= \frac{kq^2}{(y-a)^2} - \frac{kq^2}{(y+a)^2} \\ &= kq^2 \frac{4ay}{(y^2-a^2)^2} \end{aligned}$$

当 $y \gg a$ 时

$$F = \frac{4akq^2}{y^3}, \quad F \propto \frac{1}{y^3}$$

24-18 两个带有等量正电的点电荷相距 $2a$. 作一平面过两点电荷的正中点, 并与它们的连线垂直, 此平面上一点电荷 q 受力最大的地点的轨迹为一圆, 试求此圆的半径.

解 由习题 24-10, 当 $r = \frac{\sqrt{2}}{2}a$ 时, q 受力最大, 式中 r 为此圆的半径.

24-19 一小球带有正电荷 q_1 , 用一根绝缘线悬挂着, 第二个球带有负电荷 $q_2 = -q_1$, 放在第一个小球水平方向的右方, 距离为 a (a 远比球的直径为大).

a) 当这悬挂着的小球处于最后平衡位置时, 画出它的受力图.

b) 如有第三个小球, 具有正电荷 $q_3 = 2q_1$. 至少求出这小球可以放置的两个位置, 以使第一个小球仍能垂直悬挂着.

解 a) q_1 受力情况如题 24-19(a) 图所示.

b) 若将 q_3 放在 q_2 右方 x 处, 如图(b)所示, 今要 q_1 仍竖直悬挂, 必须 q_1 受到的合力为零. q_1 在竖直方向受的重力与绳子拉力等值异向; q_1 在水平方向受有 q_2 的吸引力 F_{12} 及 q_3 的排斥力