平成 25 年 11 月 26 日

平成 25 年度　応用物理 II（電磁気学）

後期中間試験

- 計算では用いる公式，計算式，途中の考え方など分かりやすく示すこと．答えのみの場合は減点となる場合がある．

- 単位が必要な場合は，必ず単位をつけること．

電卓使用不可

問題 1 次の文中の（　）に適切な語句，数式，数値を記入しなさい．なお，(13) では適切な語句を選択しなさい．

1. 電荷の間には，電荷間の距離の 2 乗に（1）し，互いの電荷の積に（2）するクーロン力が働く．電荷には正負の 2 種類が存在するが，同符号の電荷間に働くクーロン力は（3）であり，異符号の電荷間では（4）である．物質を構成する基本粒子である電子や陽子の電荷の大きさを（5）といい，その大きさは（6）である．

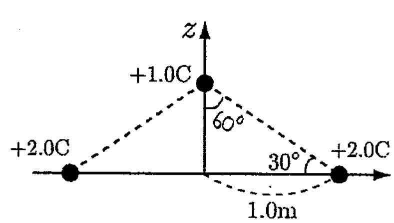
2. 静止した電荷の周りには電場（静電場）が生じる．電場の様子を電気力線として図示する場合，電気力線は（7）から発生するように描く．

3. いま 2 つの点電荷のつくる電場を考えよう．このとき，それぞれの点電荷が単独で存在するときにつくる電場を $\boldsymbol{E}_1(\boldsymbol{r})$，$\boldsymbol{E}_2(\boldsymbol{r})$とすると，全体の電場は（8）と書ける．このことを電場の（9）という．

4. 平衡状態では，導体内部の電場は (10) であり，導体の任意の 2 点における (11) は等しい．このとき導体表面の電場の向きは導体表面に (12) である．

5. 電気容量の大きなキャパシターほど，同じ電位差で (13 大きな，小さな) 電気量を蓄えることができる．

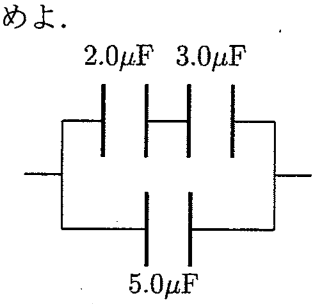
6. 温度一定の一様な導線の電気抵抗を形状によって表わされる部分と物質に依存する部分に分けて考えよう．このとき形状の影響として，電気抵抗は導線の (14) に比例し，(15) に反比例する．また，物質依存性は電気抵抗率 ρ と呼ばれる比例係数によって表される．電気抵抗率の単位はΩ・m である．



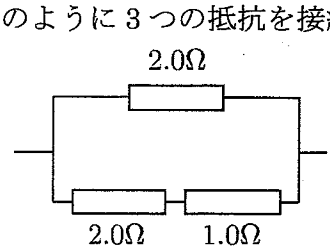
問題 2 次の問に答えなさい．

1. 右図の z 軸上の電荷に働くクーロン力の大きさを求めよ．
なお，計算では$1/(4\pi\varepsilon_0) = 9.0\times10^9\,\mathrm{N\cdot m^2/C^2}$ とせよ．

2. 右図のように 3 つのキャパシターを接続した場合の合成電気容量を求めよ．



3. 下図のように 3 つの抵抗を接続した場合の合成抵抗を求めよ．



4. 地球(半径6.4×10^6m の球と考える)は負に帯電しているため，地表付近には下向きに約100V/m の電場(大気電場)ができている．ここでは地球を導体とみなす．

(a) 地表での空気の電気伝導率はおよそ$3\times10^{-14}\Omega^{-1}\cdot\mathrm{m}^{-1}$である．地表付近にできた大気電場によって地球に流れ込む電流密度を求めよ．

(b) 地球の表面に誘導される電荷密度を求めよ．なお計算では，真空の誘電率を$\varepsilon_0=8.9\times10^{-12}\,\mathrm{C^2/(N\cdot m^2)}$とせよ．

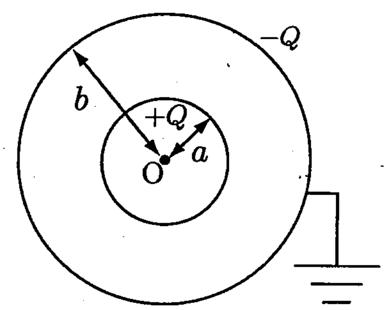
問題 3 図のような球形キャパシターを考えよう．球形キャパシターは，中心を同じとする半径aの導体球と半径bの導体球殻で構成されている．それぞれの導体には図のように電荷$\pm Q$が帯電しているものとする．導体以外の部分は真空であり，真空の誘電率をε_0とする．また，外部の導体球殻は接地されているものとする．以下の問に答えよ．

1. ガウスの法則を用いて，2 つの導体間$(a\le r\le b)$での電場を求めよ．また電気力線を 8 本の実線で示せ．

2. 導体間の電位差を求めよ．また等電位線を 3 本の破線で示せ．

3. キャパシターの電気容量を求めよ．

4. 3 の結果を利用し，半径aの孤立導体球の電気容量を求めよ．



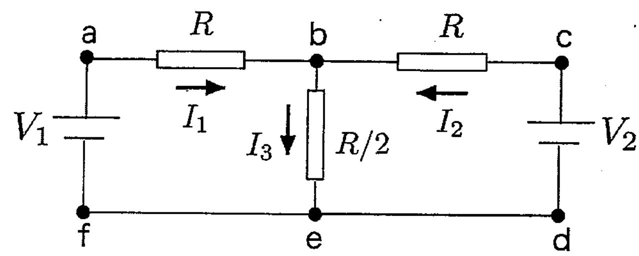
問題 4 電池における起電力V_1, V_2，および 3 つの抵抗が下図のように与えられている．このとき各抵抗を流れる電流をI_1, I_2, I_3とする．以下の問に答えよ．

1. I_1, I_2, I_3の間に成立する関係を示せ．

2. 経路 f→a→b→e→f に沿って考えたとき，V_1, I_1, I_3, Rの間に成立する関係式を示せ．

3. 経路 d→c→b→e→d に沿って考えたとき，V_2, I_2, I_3, Rの間に成立する関係式を示せ．

4. 各抵抗を流れる電流I_1, I_2, I_3を求めよ．



平成 25 年度　応用物理 II　後期中間試験答案用紙（平成 25 年 11 月 26 日）

採点時使用欄 [redacted]

学科（ J ）学籍番号（[redacted]）

問題 1（30 点）　20

(1) 反比例 比例	(2) 比例 反比例	(3) 斥力	(4) 引力	(5) 素電荷 キャパシター
(6) 1.6×10^{-19}C	(7) ~~+極~~	(8) $E_1(r)+E_2(r)$ 0	(9) 等電位面	(10) 0
(11) 電圧	(12) 垂直	(13) 大きな	(14) 長さ	(15) 面積

問題 2（25 点）　10

1.

$$\frac{4.0}{4\pi\varepsilon_0\times2^2}\times\cos60^\circ\times2$$

$$=\frac{1}{2\pi\varepsilon_0\times2}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

$\therefore\ 1.0\times9.0\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$

3

$$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{1\times2}{\left(\frac{2}{\sqrt3}\right)^2}\times\cos60^\circ\times2$$

$=1.35\times10^{10}$　1.4×10^{10} N

答 $9.0\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$

2.

$$\frac{2.0\times3.0}{2.0+3.0}=\frac{6.0}{5.0}=1.2$$

$$1.2+5.0=6.2$$

7

答 ~~$6.2\ \mu$F~~

3.

$$\frac{1}{2.0}+\frac{1}{1.0}=\frac{3.0}{2.0}=1.5$$

$$2.0+1.5=3.5$$

$$R'=1+2=3$$

$$\frac{1}{R_{全体}}=\frac{1}{3}+\frac{1}{2}=\frac{5}{6}$$

答 $3.5\ \Omega$　$1.2\ \Omega$

4.

$6.4\times10^6\ \mathrm{m}\div100\ \mathrm{V/m}=6.4\times10^4\ \mathrm{V}$

$3\times10^{-14}\times6.4\times10^4=19.2\times10^{-10}$

$\varepsilon_0=8.9\times10^{-12}\ \mathrm{C^2/(N\cdot m^2)}$

(a) $j=\sigma E=3\times10^{-14}\ \Omega^{-1}\cdot\mathrm{m}^{-1}\times100\ \mathrm{V/m}$

$=3.0\times10^{-12}\ \mathrm{A/m^2}$

(b) $E=\dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}$

答 $\sigma=\varepsilon_0E=8.9\times10^{-12}\times(-100)$

$=8.9\times10^{-10}\ \mathrm{C/m^2}$

問題 3 (30 点)

12

1. $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0} \times 2$

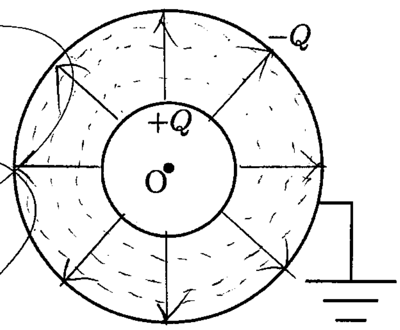
$\sigma = \dfrac{Q}{S}$

$E \times 4\pi r^2 = Q/\varepsilon_0$

$\therefore \dfrac{1}{2\varepsilon_0} \times 2 \times \dfrac{Q}{S}$

$E = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

答 $\dfrac{Q}{\varepsilon_0 S}$



1 の電気力線（実線）と 2 の等電位線（破線）を図示する

2. $V = Ed$

$= \dfrac{Q}{\varepsilon_0 S} \times (b-a)$

$V = -\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\int_b^a \dfrac{dr}{r^2}$

2

$= \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left[-\dfrac{1}{r}\right]_b^a$

答 $\dfrac{(b-a)Q}{\varepsilon_0 S}$

3. $Q = CV$

$C = \dfrac{Q}{V} = \dfrac{4\pi\varepsilon_0 ab}{b-a} \left(= \dfrac{4\pi\varepsilon_0}{\frac{1}{a}-\frac{1}{b}}\right)$

$C = \dfrac{Q}{V}$

$= Q \times \dfrac{(b-a)Q}{\varepsilon_0 S} = \dfrac{(b-a)Q^2}{\varepsilon_0 S}$

答 $\dfrac{(b-a)Q^2}{\varepsilon_0 S}$

4. $b \to \infty$

$= \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{1}{a} - \dfrac{1}{b}\right)$

$C = 4\pi\varepsilon_0 a$

答

15

問題 4 (15 点)

1.

答 $I_3 = I_1 + I_2$

2.

答 $V_1 = I_1 R + I_3 \times \dfrac{R}{2}$

3.

答 $V_2 = I_2 R + I_3 \dfrac{R}{2}$

4. $V_1 = I_1 R + \dfrac{R}{2}(I_1 + I_2)$

$= \dfrac{3}{2} I_1 R + \dfrac{1}{2} I_2 R$

$V_2 = I_2 R + \dfrac{R}{2}(I_1 + I_2)$

$= \dfrac{3}{2} I_2 R + \dfrac{1}{2} I_1 R$

$V_1 = \dfrac{3}{2} I_1 R + \dfrac{1}{2} I_2 R$

$-)\ 3V_2 = \dfrac{3}{2} I_1 R + \dfrac{9}{2} I_2 R$

$-4I_2 = \dfrac{V_1 - 3V_2}{R}$

答 $I_1 = \dfrac{3V_1 - V_2}{4R}$, $I_2 = \dfrac{3V_2 - V_1}{4R}$, $I_3 = \dfrac{V_1 + V_2}{2R}$