

1

極板面積 S 、極板間隔 d 、極板間に挿んである絶縁体の誘電率 ϵ の平板コンデンサーがある。
極板間の電圧を V とするとき、以下の間に答えなさい。すべて、 S 、 d 、 ϵ 、 V で表すこと。

- (1) $Ed=V$ より、 $E=?$
- (2) 電束密度 $D=\epsilon E$ より、 $D=?$
- (3) 極板には $\pm Q$ の電荷が蓄えられる。 $Q=DS$ (束)の力線が出ているので、 $Q=?$
- (4) (3) より、 $Q=CV$ が成り立つ。静電容量 C を求めなさい。
- (5) 極板間の単位電束 1(C) 当たりに含まれる電気エネルギーは、 $U/Q=V/2$ より、
 $U=QV/2=CV^2/2=?$
- (6) 単位電束 1(C) の単位長さ 1(m) 当たりに含まれるエネルギー密度 $U/Qd=E/2=?$
- (7) 極板間の引力を F とすると、電束を d だけ引き伸ばすのに要した仕事 Fd が、コンデンサーに蓄えられた電気エネルギー $QV/2$ になると考えて、 $Fd=QV/2$ より、 $F=QE/2=?$
- (8) 極板間の電束に蓄えられている電気エネルギーの密度 $u(J/m^3)=U/Sd=ED/2=?$

2

長さ ℓ 、断面積 S 、透磁率 μ の鉄芯に導線を N 巻きして作ったコイルがある。
導線に流れる電流を I とするとき、以下の問いに答えなさい。すべて、 ℓ 、 S 、 μ 、 N 、 I で表すこと。

- (1) アンペールの法則より、 $H\ell=IN$ と近似できるので、内部の磁場 $H=?$
- (2) 磁束密度 $B=\mu H$ となるので、コイル内部の $B=?$
- (3) この電磁石の「磁極の強さ」を表す磁荷 $Q_m=BS=?$
- (4) コイルを縁とするラセン面を貫く全磁束 Φ は、ラセン面の面積を SN で近似すると、
 $\Phi=BSN=Q_mN$ より、 $\Phi=LI$ と書ける。 $L=?$ をインダクタンスという。
- (5) 単位磁束 1(Wb) の単位長さ 1(m) 当たりに含まれるエネルギー密度は、 $H/2=?$
- (6) 単位磁束に含まれるエネルギーは、 $(H/2) \cdot \ell=?$
- (7) コイル内部には、単位磁束が BS (束) あるので、コイルに蓄えられている磁気エネルギー U_m は、
 $U_m=BS \cdot (H/2) \cdot \ell=LI^2/2$ と書いて、コイルのインダクタンス $L=?$ を求めなさい。
- (8) コイル内の磁束に蓄えられている磁気エネルギーの密度 $u(J/m^3)=U_m/Sd=HB/2=?$

3

図のような LCR 交流回路のエネルギー保存則から、電圧についてのキルヒホッフの式を導きなさい。

$Q=CV$ には $\Phi=LI$ が、 $U=QV/2=CV^2/2$ には $U_m=\Phi I/2=LI^2/2$ が対応している。

$$d/dt (CV^2/2 + LI^2/2) = +IV_e - IV_R$$

交流電源のする仕事は、 $+IV_e$ とする。

$$V_R=RI$$

$$dQ/dt=I$$

$$CV^2=Q^2/C$$

などを使う。

コイルは電源の役割を果たしている。左辺に移行して、 $+Ve - LdI/dt$ として、

$-d\Phi/dt = -LdI/dt$ を誘導起電力 (圧) という。

これを電磁??の法則という。

4

原点(0, 0, 0)に点電荷 Q があるとき、その回りには、球対称な静電場が生じる。

位置ベクトルを $\mathbf{r} = (x, y, z)$ とする。

- (1) 電場 $\mathbf{E}$ をベクトルで表示しなさい。
- (2) 静電ポテンシャル ϕ を求めなさい。

5

2つの点電荷 Q_1 と Q_2 があり、それぞれの位置ベクトルを $\mathbf{r}_1$ 、 $\mathbf{r}_2$ とする。

- (1) 点電荷の間に働く力をベクトルで表示しなさい。作用反作用の法則は成り立つか？
- (2) この2電荷がもつポテンシャルエネルギーを求めなさい。

6

塩化ナトリウム NaCl のイオン結晶が持つ静電気エネルギーを求めなさい。

7

正電荷 $+q$ と負電荷 $-q$ が、変位ベクトル d だけ変位した双極子がある。

- (1) この双極子が遠方に作る静電ポテンシャルを求めなさい。
- (2) この双極子が遠方に作る電場を求めなさい。

この双極子を一様な外部電場 $\mathbf{E}^{\text{ex}}$ の中に入れる。双極子と外部電場のなす角を θ とする。

- (3) 双極子に生ずるトルク（偶力のモーメント） τ を求めなさい。
- (4) この双極子の外部電場中での位置エネルギー U を求めなさい。 $dU = -\tau d\theta$

8

容量 C のコンデンサーに、電気量 $\pm Q_0$ を蓄えて、抵抗 R をつなげて放電する。

- (1) この CR 回路のエネルギー保存則を説明し、キルヒホッフの法則を導きなさい。
- (2) どのような電流が流れるか？説明しなさい。
- (3) 抵抗での発熱量を求めなさい。

9

容量 C のコンデンサーに、電池（電圧 V_e ）と抵抗をつなげて充電する。

この回路全体の抵抗を R とする。

- (1) この CR 回路のエネルギー保存則を説明し、キルヒホッフの法則を導きなさい。
- (2) どのような電流が流れるか？説明しなさい。
- (3) 抵抗による発熱量、電池のした仕事とコンデンサーに蓄えられた電気エネルギーの関係を説明しなさい。

10

- (1) 抵抗体の中を流れる自由電子の運動から、抵抗体内部の電場に比例した電流密度が生ずることを説明しなさい。
- (2) 抵抗体の電気抵抗値を R 、かかる電圧を V 、流れる電流を I とするとき、 $V=RI$ が成り立つことを、(1) を利用して説明しなさい。
- (3) 抵抗体の毎秒当たりの発熱量が $W=IV=RI^2$ となることを、(1) を利用して説明しなさい。

11 自問自答しなさい。

例えば、勾配ベクトル (gradient) の意味を説明しなさい。

直線電流の間に働く磁気力 (アンペールの力) について説明しなさい。