2014 教養の物理 期末テスト　2014.7.24実施

注) 解答は全て解答用紙に記述すること。
途中式などは省略せず記述をすること。

必修問題

1. 力学の基礎的な物理量について答えよ。

(1) 速度 v の定義式とその次元を記述せよ。

(2) 加速度 a の定義式とその次元を記述せよ。

(3) 力 F は $\boxed{\qquad\qquad = F}$ と表される。

その次元は $\boxed{\qquad\qquad}$ である。

(4) (3)の式は運動方程式であり、この式を変形することにより
さまざまな物理量を導くことができる。
(3)の式の両辺に速度 v を掛け、整理すると

$$\frac{d}{dt}\left(\boxed{\quad ① \quad}\right) = \frac{d}{dt}\left(\boxed{\quad ② \quad}\right)$$

となる。
左辺の①の部分は運動エネルギーを右辺の②の部分は
仕事を表している。

(5) また、(3)の式を変形すると

$$\frac{d}{dt}\left(\boxed{\quad ③ \quad}\right)=F$$

と表される。

③の部分は運動量である。

③を p とおくと

$$\frac{d}{dt}(p)=F \qquad dp=Fdt$$

この左辺 Fdt が力積であり、その次元は $\boxed{\qquad}$ である。

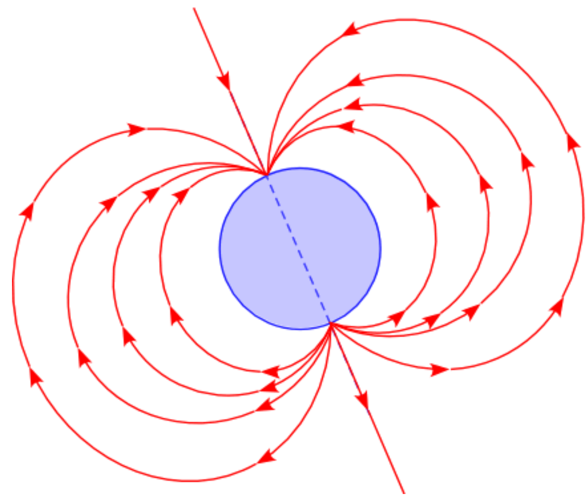
2. x 軸に沿って運動する質点が $v=5+6t^2$ に従って運動する。
この質点は $t=2$ [s]における位置は 30[m] である。

(1) $t=t_1$ における質点の加速度 $a(t_1)$ を求めよ。

(2) 変位 $x(t)$ を t の関数として表せ。

3. 陽子と電子が 5×10^{-11}[m] 離れた位置にある。
このときの電子と陽子に作用するクーロン力の大きさ $|\ F\ |$ を計算し、引力か斥力かを答えよ。
但し、電子の電荷を 1.6×10^{-19} [C]、クーロン定数を 9.0×10^{9} [N･m²/C²] とする。

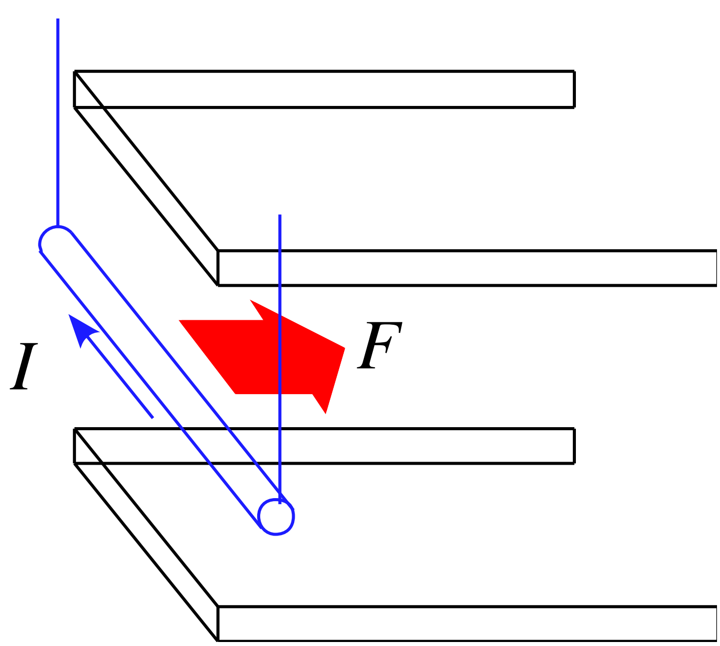
4. 図は地球の磁力線を表したものである。
北極の極性を答えよ。



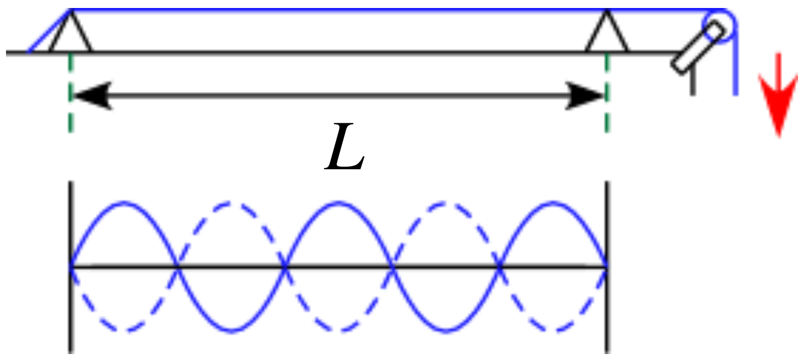
5. 図はU字磁石の一部である。
この磁石の間に導線を設置し、電流を図の矢印の向きに流したところ、太矢印の方向に導線が動いた。

(1) 磁石の極性をそれぞれ図に書き込め。

(2) 磁場の向きを図に書き込め。



6. 細いピアノ線を図のように弛まないように設置した。
振動数 f で振動させたところ図のような定常波が観測された。



(1) この定常波の波長 λ を L を用いて表せ。

(2) 弦を伝わる波の速さを v とすると、振動数 f を求めよ。

選択問題 (熱力学) 以下の問題7～9のうち1題を選択して解答せよ。

7. 温度 100 [℃] 、質量 10 [g] の弾丸が水平方向から
速度 1500 [m / s] で 0 [℃]の氷の塊に打ち込まれて止まり、
氷が少し溶けた。この時、氷全体は動かなかったものとする。

以下の値を用いて問いに答えなさい。

熱の仕事当量 4.2 [J / cal] 、弾丸の比熱 0.030 [cal / g･K] 、
氷の融解熱 80 [cal / g]

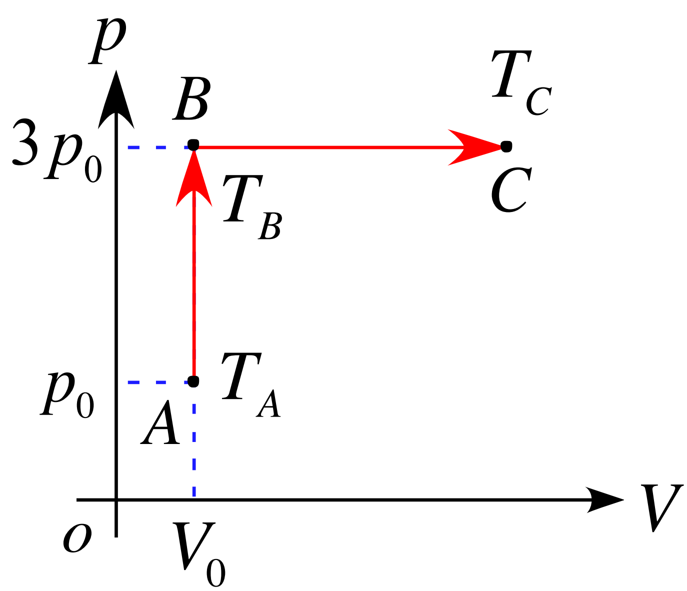
(1) 弾丸の運動エネルギー K を求めなさい。

(2) 弾丸の熱容量 $C_{弾}$ はいくらか、[cal / K] の単位で答えよ。

(3) 100 [℃] の弾丸が 0 [℃] になるとき、どれだけの熱量を
放出するか[cal] の単位で答えよ。

(4) 弾丸の運動エネルギーが全て熱に変換されたとするとき、
弾丸が溶かした氷の質量を求めよ。

8. 1 [mol] の一定量の理想気体を図のように、
状態A → 状態B → 状態C へと変化させた。
以下の問に答えよ。但し、気体状数Rを必要ならば用いてよい。



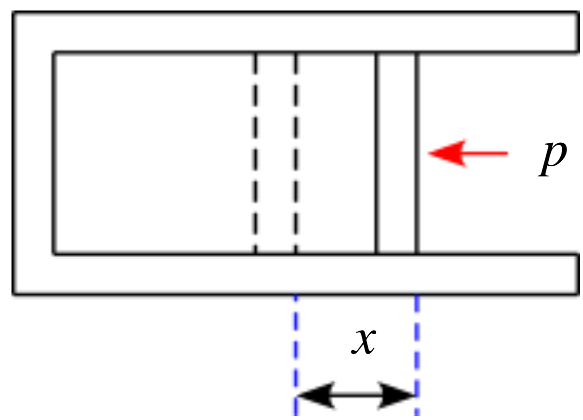
(1) 状態Aの絶対温度T_Aを求めよ。

(2) 状態Bの絶対温度T_B は T_Aの何倍か求めよ。

(3)状態Cの絶対温度は$6T_A$であった。
状態Cの体積はV_0 の何倍か求めよ。

9. 断面積Sのピストン付きシリンダー内に1 [mol] の気体が封入されている。ピストンを一定の圧力pで水平方向に距離xだけ移動させた。この過程について以下の問に答えよ。

但し、ピストン、シリンダーともに断熱材でつくられているものとする。

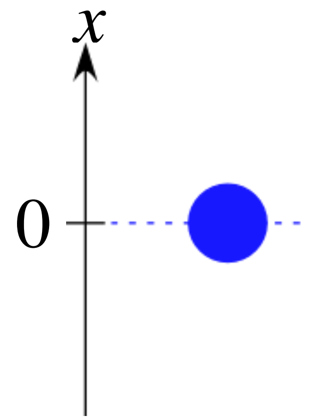


(1) 系がされた仕事を求めよ。

(2) この過程での内部エネルギーの変化 ΔU を求めよ。

選択問題 (力学) 以下の問題10～13のうち2題を選択して解答せよ。

10. 質量 m の物体を自由落下させる。
以下の問に答えよ。
但し、重力加速度は g とする。

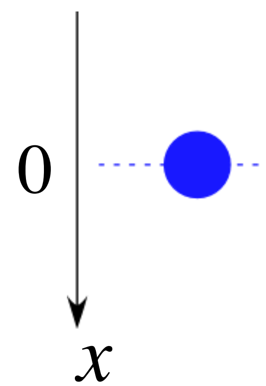


(1) 物体に作用する力を書き込め。

(2) この運動の運動方程式を記述せよ。

(3) この運動において力学的エネルギーが保存していることを運動方程式から導け。

11. 質量 m の雨滴が落下する運動を考える。
このとき、空気抵抗が働くものとし、
その空気の抵抗力の大きさは kv とする。
以下の問に答えよ。



(1) 物体に作用する力を書き込め。

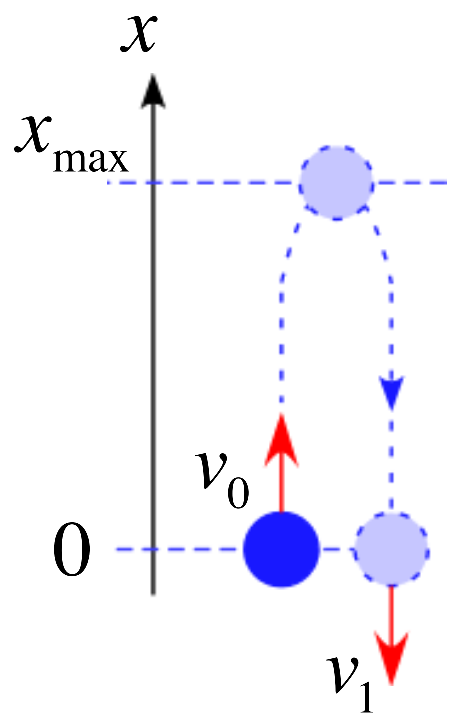
(2) この運動の運動方程式を記述せよ。

運動方程式を解くと、速度 $v(t)$ は $v(t)=\dfrac{mg}{k}\left(1-e^{-\frac{k}{m}t}\right)$ となる。

(3) $v-t$ グラフを書け。また、原点での傾きを求めよ。

(4) 十分時間が経過した状態の速度を記述せよ。

12. 質量 m の物体を鉛直方向に初速度 v_0 で投げ上げる運動を考える。
初期条件は $t=0$ で $x=0$ とする。



(1) この運動の運動方程式を記述せよ。

(2) 運動方程式から速度 $v(t)$ を導け。

(3) 運動方程式から変位 $x(t)$ を導け。

(4) 最高点に達する時刻 t_{max} を求めよ。

(5) 最高点の位置 x_{max} を求めよ。

(6) 再び戻ってきた時の速度 v_1 を求めよ。

(7) ある時刻 t での運動エネルギー $K(t)$ と位置エネルギー $U(t)$ を求め、その和 $E(t)=K(t)+U(t)$ が時間に寄らず一定であることを示せ。

(8) 運動エネルギー $K(t)$、位置エネルギー $U(t)$、全力学的エネルギー $E(t)$ をそれぞれ時間 t のグラフで表せ。

13. 摩擦がある斜面を質量 m の物体がすべり降りる運動の運動を考える。以下の問に答えよ。
但し、動摩擦力は $f=\mu_k N$ として用いてよいとする。

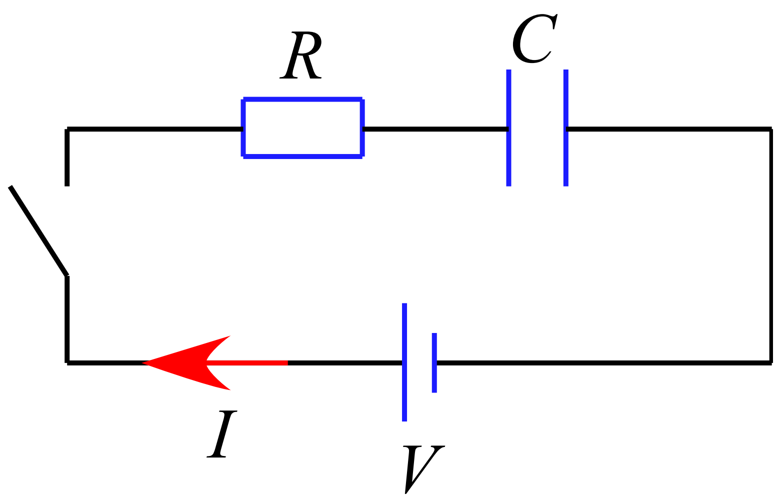
(1) 物体に作用する力を図に書き込め。

(2) この運動の運動方程式を記述せよ。

(3) この運動の加速度 a を求め、この運動が等加速度運動であることを示せ。

選択問題 (電磁気学) 以下の問題14～16のうち2題を選択して解答せよ。

14. 次のRC回路を考える。スイッチを入れる前にはコンデンサーに電荷は蓄えられていないものとする。
スイッチを入れた時刻を $t=0$ として、以下の問に答えよ。



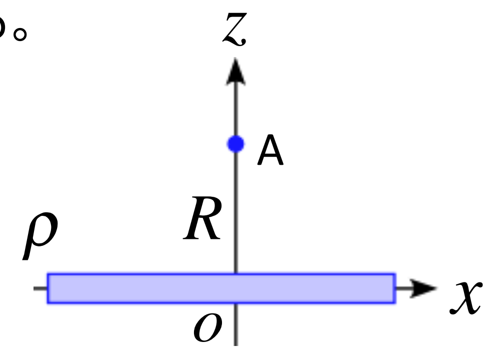
(1) 回路方程式を記述せよ。
ある時刻 t におけるコンデンサーの電荷を $Q(t)$ としてよい。

(2) 図の向きを正として、$t=0$ における電流の値を求めよ。

(3) 十分に時間が経った後のコンデンサーの電荷 Q の値を求めよ。

(4) $Q-t$ グラフを描け。
また、$Q-t$ グラフの原点での傾きを記述せよ。

15. 単位長さあたりの電気量(線密度)がρである無限に長い直線上の電荷がある。 但し、線の太さは無視できるものとする。
また、クーロン定数は $k=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ とする。

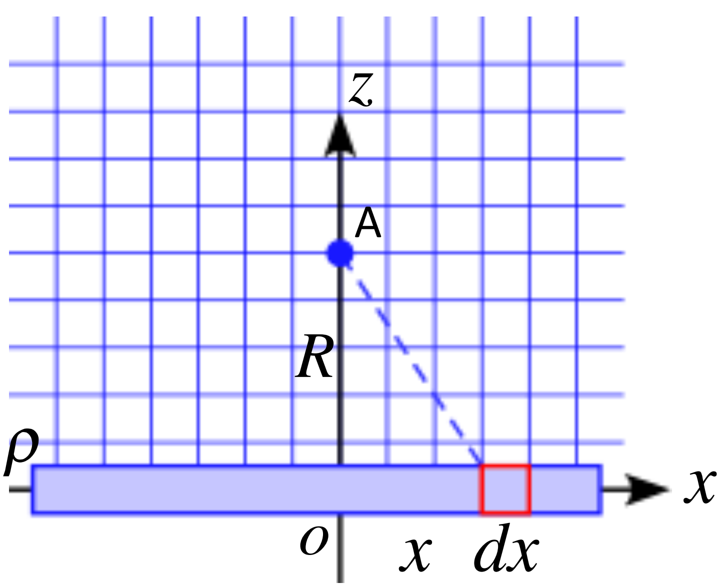


直線から距離 R にある点Aでの電場の大きさを2通りの方法で求めるとする。

まずはクーロンの法則を使って求めよう。
クーロンの法則は点電荷間に作用する力を表している。
このため、この線状の電荷の微小部分を点電荷とみなしクーロンの法則を適用しよう。

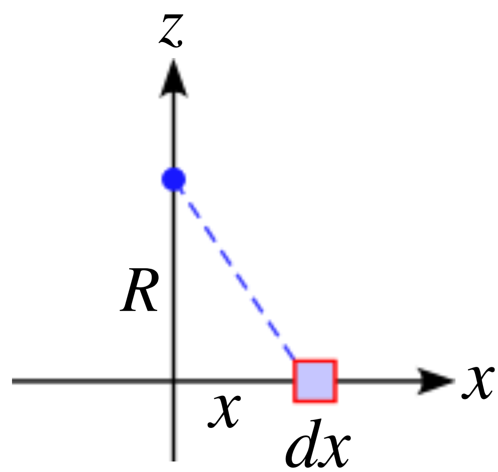
直線上の原点から x だけ離れた場所での微小部分とする。

(1) この微小部分による点Aでの電場 $\Delta\vec{E}$ を作図せよ。



(2) この微小部分の長さをdxとする。

この微小部分の電気量を求めよ。



(3) この微小部分による点Aでの電場

の大きさΔE を$\varepsilon_0, \rho, x, R, dx$

を用いて表せ。

(4) 微小部分による電場 $\Delta\vec{E}$ を全区間に対して考えると

により、z方向の成分だけ考えればよい。

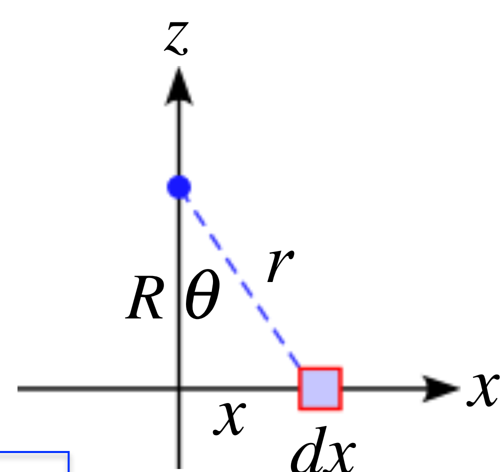
(5) この微小部分による点Aでの電場 $\Delta\vec{E}$ の

z方向の成分ΔE_zを $\Delta E, \theta$ を用いて表すと

$\Delta E_z =$ となる。

ここで、$r = \sqrt{x^2 + R^2}$ とし、

$\varepsilon_0, \rho, r, \theta, dx$ を用いて表すと

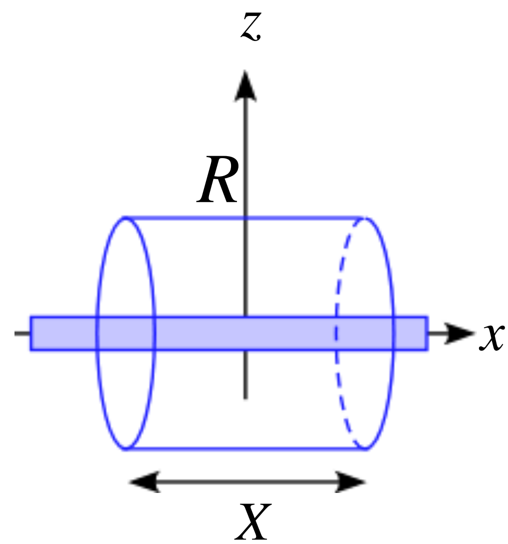


$\Delta E_z =$ となる。

このΔE_z を積分すれば E_zが求まる。

続いてガウスの法則を用いて電場 E 求めるとする。

ガウスの法則を適用する閉曲面を
右図の様に左右に長さ X 半径 R
の円筒とする。



(6) この閉曲面内の電気量を
X, ρ を用いて表せ。

(7) この閉曲面を貫く電気力線は
円筒の側面部分から合計 [　　　] 本であり、
円筒の左右の面(円筒の底面)から [　　　] 本である。

よって、この円筒に対するガウスの法則は

(8) [　　　 $=$ 　　　] と表せる。

従って、求める電場 E は

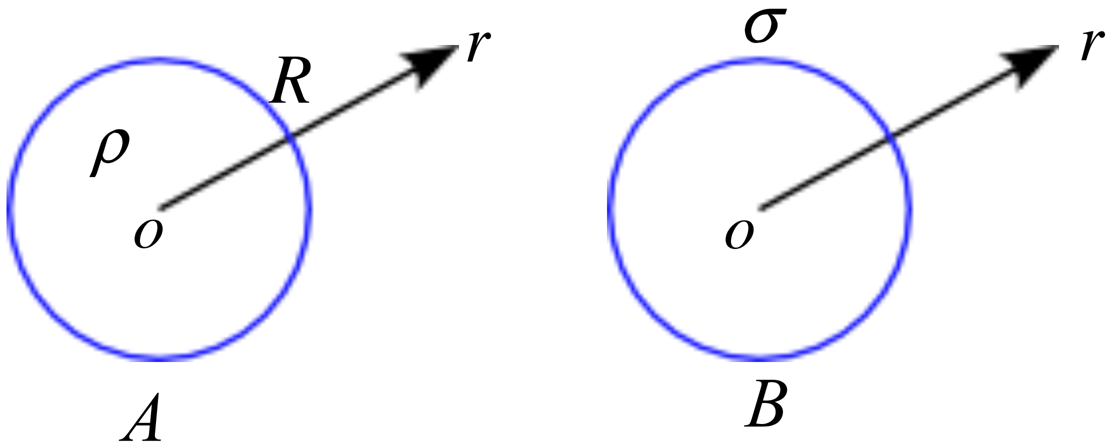
(9) [$E =$ 　　　] となる。

16. 図のように、半径 R の球 A, B がある。

球 A は単位体積あたり電気量 $\rho(>0)$, 球 B は表面に単位面積あたり電気量 $\sigma(>0)$ の荷電粒子がそれぞれ一様に分布しているとする。

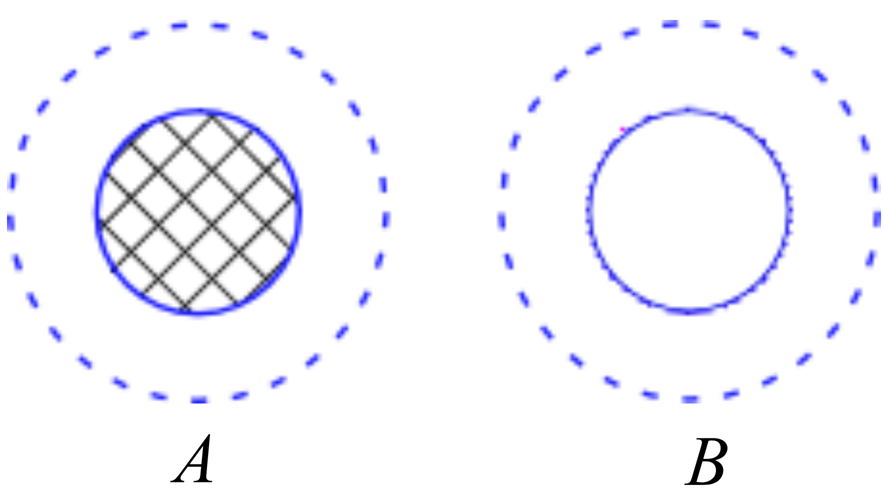
真空誘電率は ε_0 とする。

以下の問に答えよ。



球 A, B において、内外に閉曲面として半径 r の球を考えることによりガウスの法則を用いて電場を求めるとする。

(1) $r(\geq R)$ の時、球 A, B においてガウスの法則を適用した式を記述し、電場の大きさ $E(r)$ をそれぞれ求めよ。



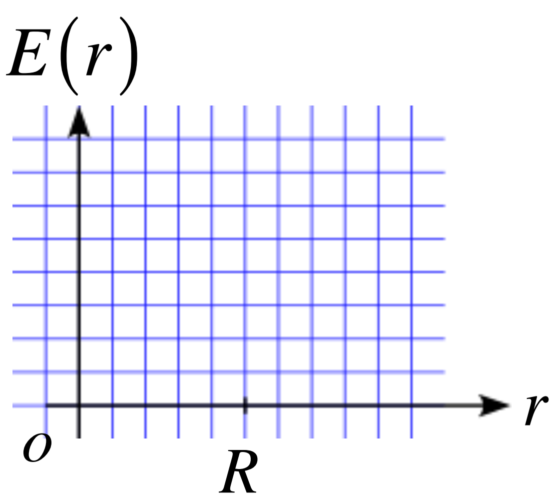
(2) $r(\leq R)$ の時、球 A, B においてガウスの法則を適用した式を記述し、電場の大きさ $E(r)$ をそれぞれ求めよ。

A

B

(3) 球の内外につくる電場を距離 r の関数としてそれぞれグラフを書け。

A



B