

電験どうでしょう管理人
KWG presents

電験オンライン塾

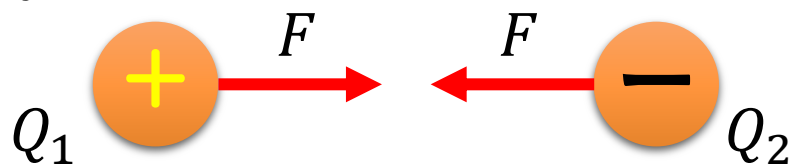
第1回 電磁気学 ~電気力線、電界と電束~

2023.05.07 Sun

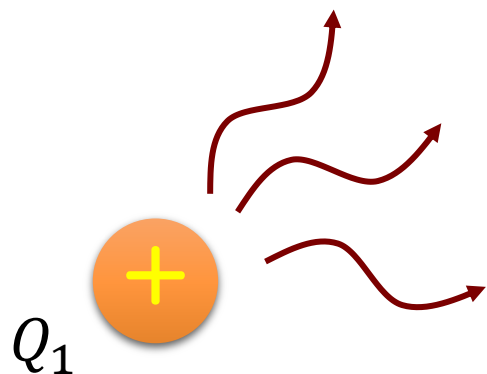
クーロン力とは

電荷間で働く力 $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2}$

引力



斥力



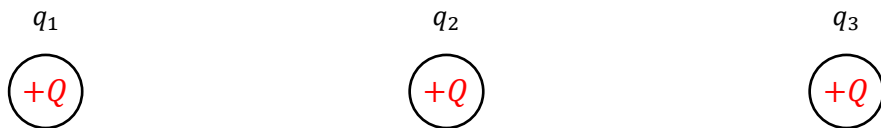
電荷が空間にある雰囲気を出して、
周りの電荷に相互作用を引き起こす

相互作用：クーロン力
雰囲気：電界、電束

演習問題 I

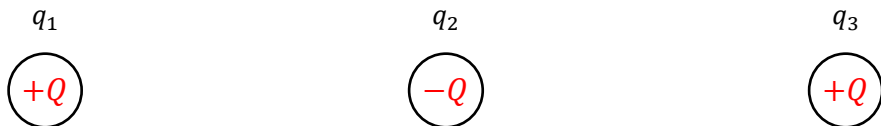
3つの電荷間で発生するクーロン力を表すベクトルを描け。

(1)

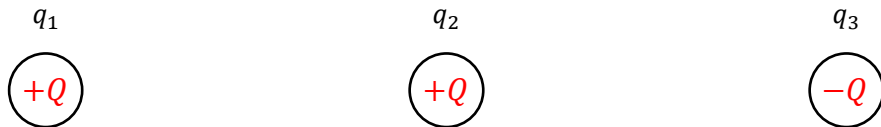


電荷間で働く力 $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2}$

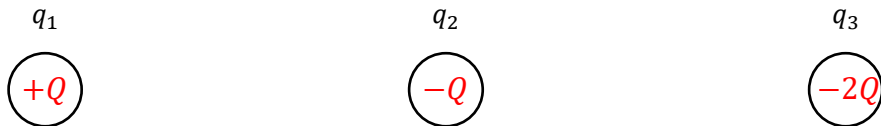
(2)



(3)



(4)



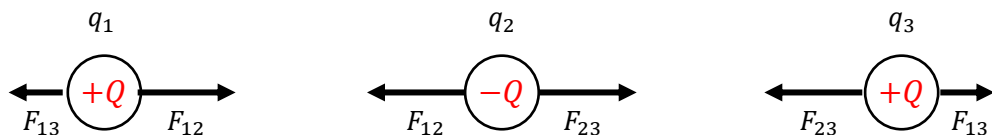
演習問題I (解答)

3つの電荷間で発生するクーロン力を表すベクトルを描け。

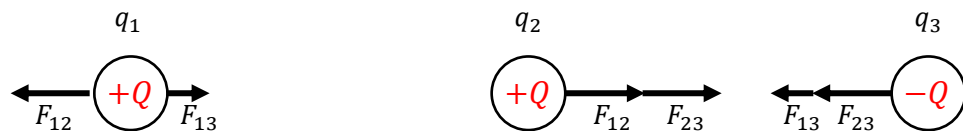
(1)



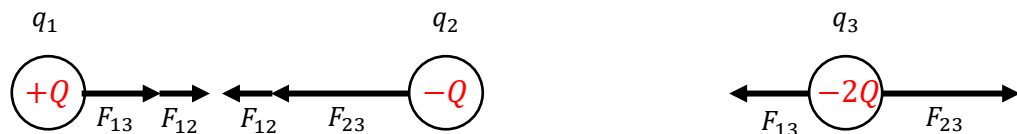
(2)



(3)



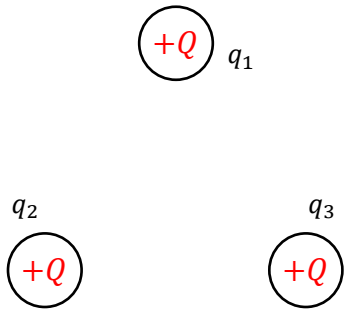
(4)



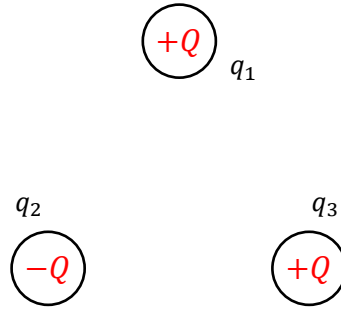
演習問題2

3つの電荷間で発生するクーロン力を表すベクトルを描け。

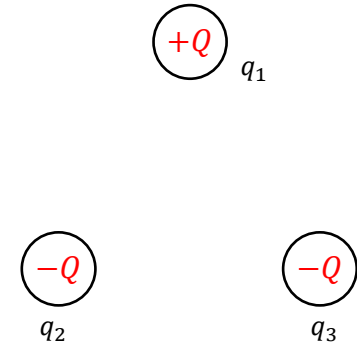
(1)



(2)



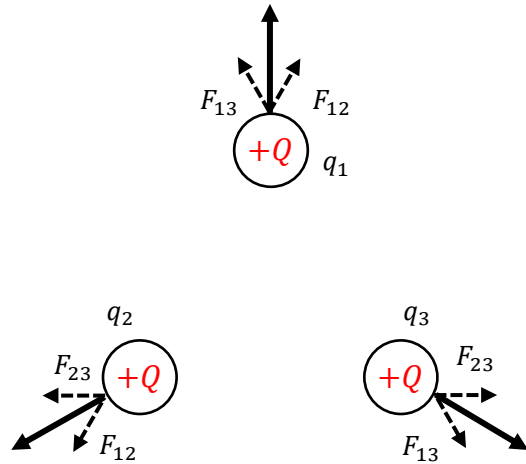
(3)



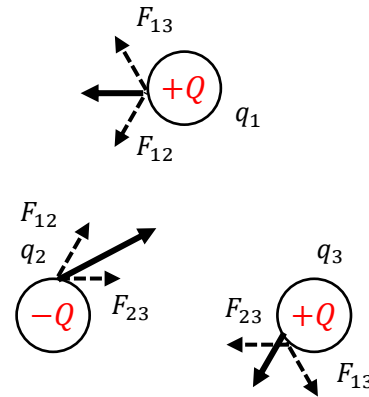
演習問題2 (解答)

3つの電荷間で発生するクーロン力を表すベクトルを描け。

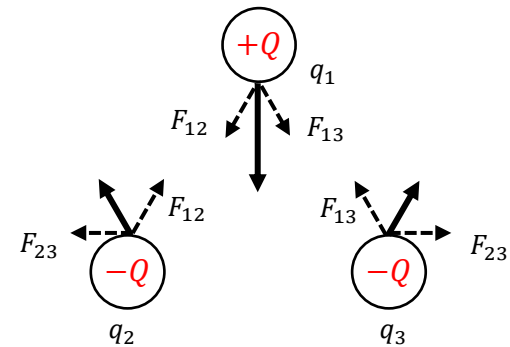
(1)



(2)

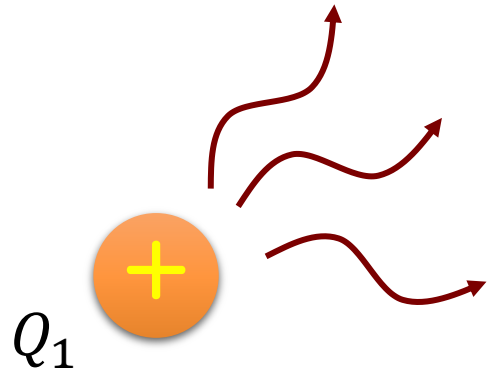


(3)



← クーロン力

クーロン力と電界

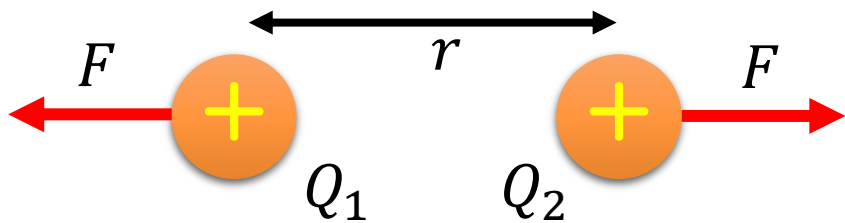


電荷が空間にある雰囲気を出して、
周りの電荷に相互作用を引き起こす

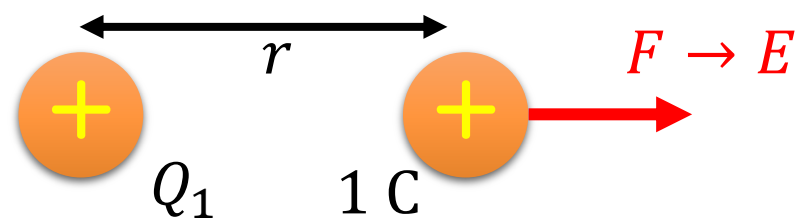
相互作用：クーロン力
雰囲気：電界、電束

電界：電荷 Q が位置 r に置かれた1Cの電荷に生じる力

クーロン力 $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2}$



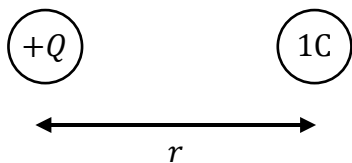
電界 $F = \frac{Q_1 \times 1}{4\pi\epsilon r^2} \rightarrow E = \frac{Q_1 \times 1}{4\pi\epsilon r^2}$



演習問題3

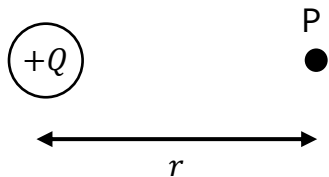
各問に答えよ。特に指定がなければ誘電率は ϵ_0 とする。

- (1) 電荷の $+Q$ から距離 r の位置に $1C$ の電荷を配置したとき、
 $1C$ の電荷に生じるクーロン力の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



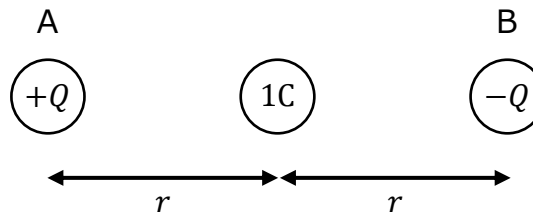
Ans. $F =$ _____

- (2) 電荷の $+Q$ から距離 r の点 P の電界の向きを図で示し、
 大きさを式で示せ。



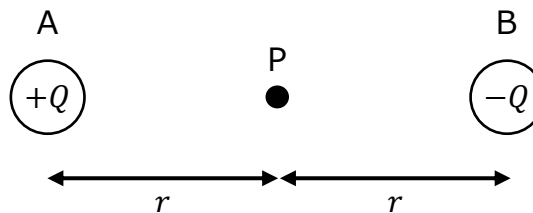
Ans. $E =$ _____

- (3) 2つの電荷の間に $1C$ の電荷を配置したとき、
 $1C$ の電荷に生じるクーロン力の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



Ans. $F =$ _____

- (4) 2つの電荷の間の点 P の電界の向きを図で示し、大きさを式で示せ。

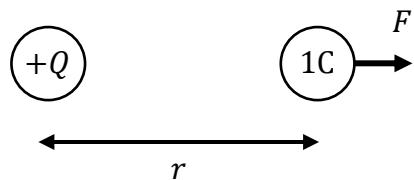


Ans. $E =$ _____

演習問題3 (解答)

各問に答えよ。特に指定がなければ誘電率は ϵ_0 とする。

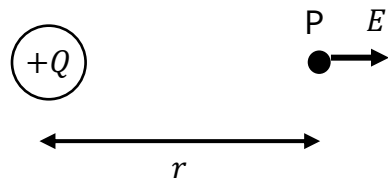
- (1) 電荷の $+Q$ から距離 r の位置に $1C$ の電荷を配置したとき、
 $1C$ の電荷に生じるクーロン力の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



$$F = \frac{Q \times 1}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

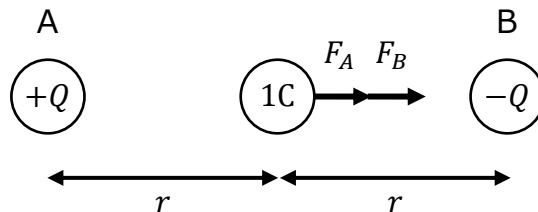
Ans. $F = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

- (2) 電荷の $+Q$ から距離 r の点 P の電界の向きを図で示し、
 大きさを式で示せ。



Ans. $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

- (3) 2つの電荷の間に $1C$ の電荷を配置したとき、
 $1C$ の電荷に生じるクーロン力の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



$$F_A = \frac{Q \times 1}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

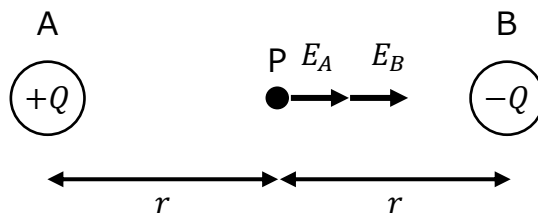
$$F_B = \frac{Q \times 1}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$F = F_A + F_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r^2}$$

Ans. $F = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r^2}$

力の向きが
同じなので足算

- (4) 2つの電荷の間の点 P の電界の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



$$E_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$E_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$E = E_A + E_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r^2}$$

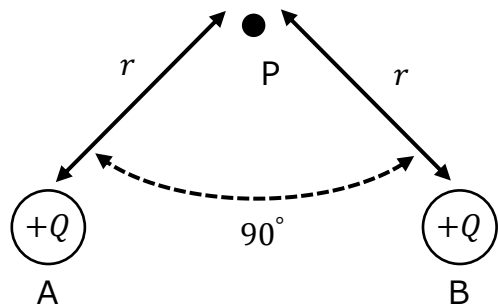
Ans. $E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r^2}$

電界の向きが
同じなので足算

演習問題4

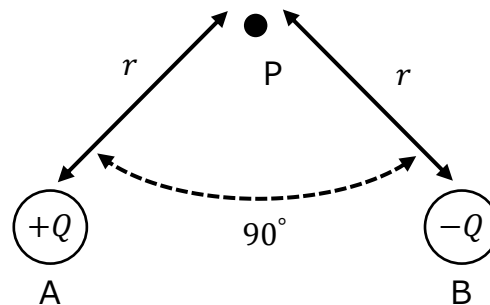
各問に答えよ。特に指定がなければ誘電率は ϵ_0 とする。

(1) 2つの電荷の間の点Pの電界の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



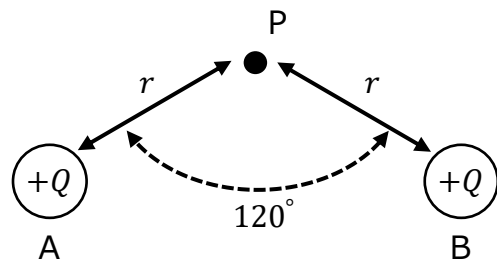
Ans. $E =$ _____

(2) 2つの電荷の間の点Pの電界の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



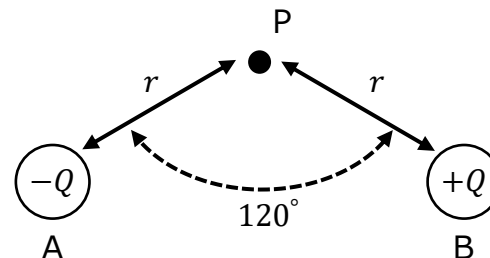
Ans. $E =$ _____

(3) 2つの電荷の間の点Pの電界の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



Ans. $E =$ _____

(4) 2つの電荷の間の点Pの電界の向きを図で示し、大きさを式で示せ。

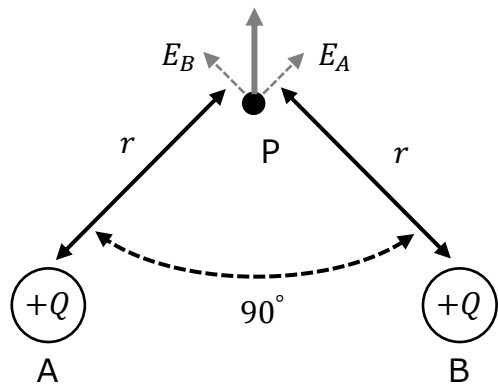


Ans. $E =$ _____

演習問題4 (解答)

各問に答えよ。特に指定がなければ誘電率は ϵ_0 とする。

(1) 2つの電荷の間の点Pの電界の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



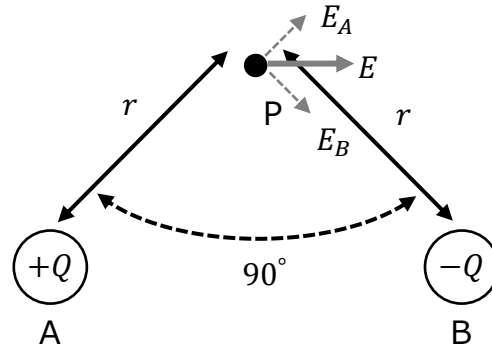
$$E_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad E_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$E = E_A \cos 45^\circ + E_B \cos 45^\circ$$

$$= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Ans. $E = \frac{\sqrt{2}Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

(2) 2つの電荷の間の点Pの電界の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



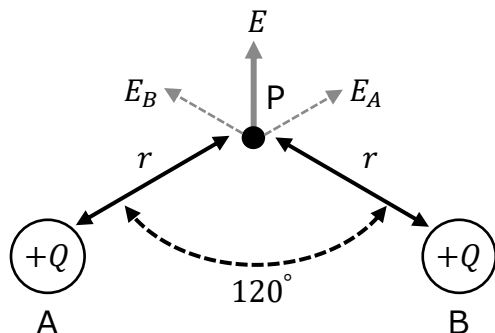
$$E_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad E_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$E = E_A \cos 45^\circ + E_B \cos 45^\circ$$

$$= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Ans. $E = \frac{\sqrt{2}Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

(3) 2つの電荷の間の点Pの電界の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



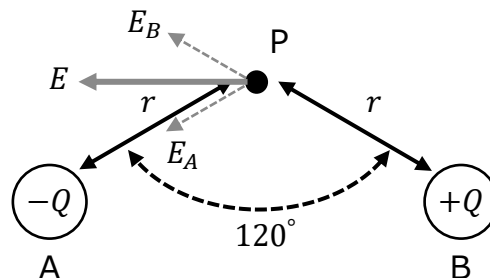
$$E_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad E_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$E = E_A \cos 60^\circ + E_B \cos 60^\circ$$

$$= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{2} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Ans. $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

(4) 2つの電荷の間の点Pの電界の向きを図で示し、大きさを式で示せ。



$$E_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad E_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

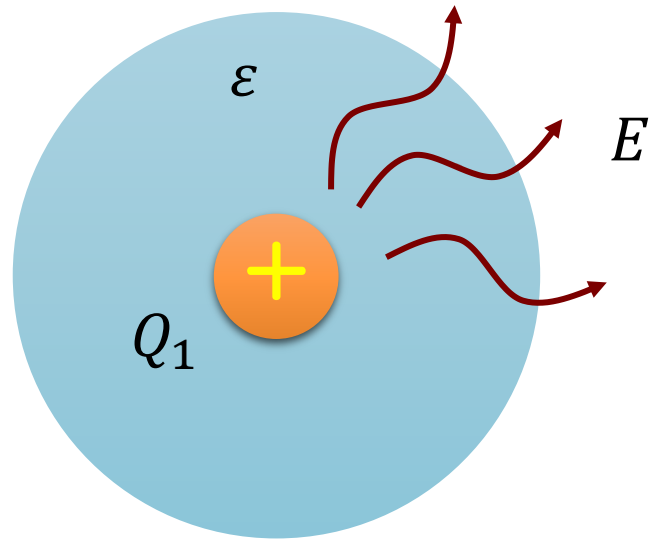
$$E = E_A \cos 30^\circ + E_B \cos 30^\circ$$

$$= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Ans. $E = \frac{\sqrt{3}Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

電界と電気力線

電界 $E = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon r^2}$, $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2} = Q_2 E$ E [V/m]



1つの電荷が作る電界 $E = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon r^2}$

複数の電荷が作る電界

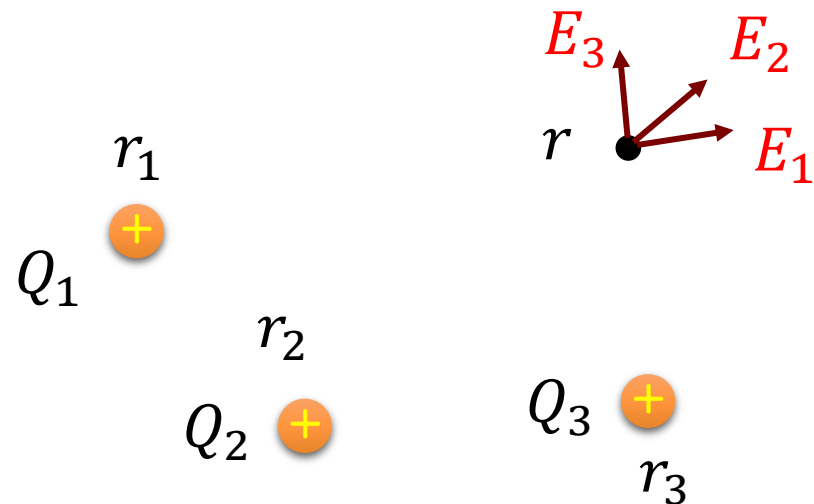
$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

$$= \frac{Q_1}{4\pi\epsilon(r - r_1)^2} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon(r - r_2)^2} + \frac{Q_3}{4\pi\epsilon(r - r_3)^2} + \dots$$

計算が大変

電荷とその周りの誘電体
が作る雰囲気→電界

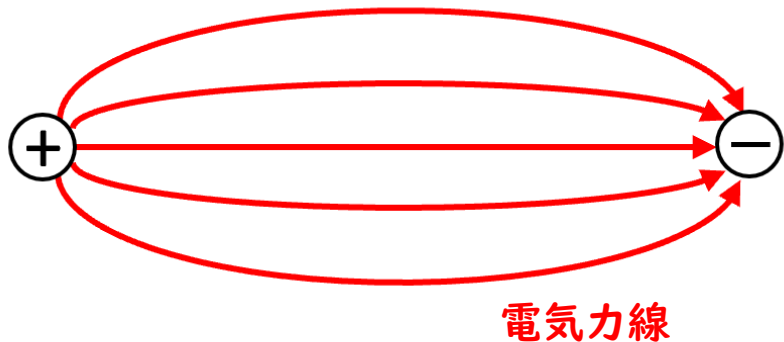
クーロン力の程度を把握する
のに有効



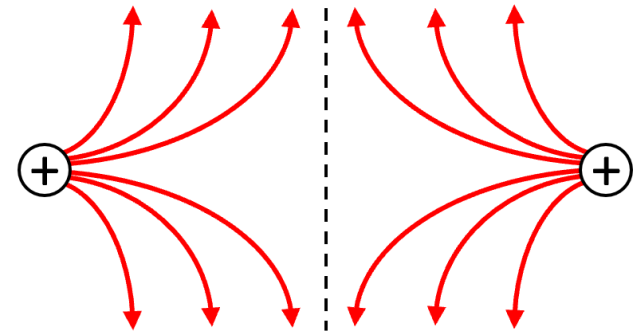
電界と電気力線

電気力線：電荷が作る電界を直感的にイメージするための
仮想的な線

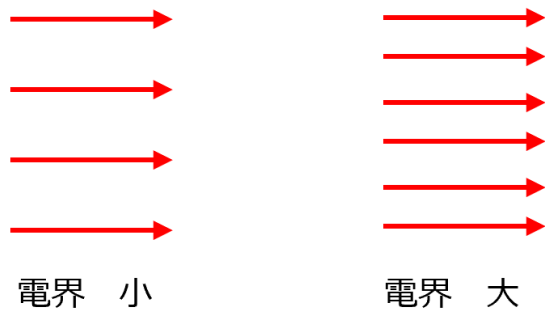
電気力線は正の電荷から出て、負の電荷へ入る。
途中で増減したり、他の電気力線と交差したりしない。



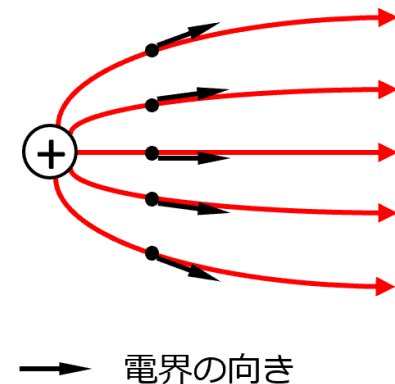
同符号の電荷の電気力線は反発しあう。
(同じ向きの電気力線は反発し合う)



電気力線の密度は電界の強さを表す。



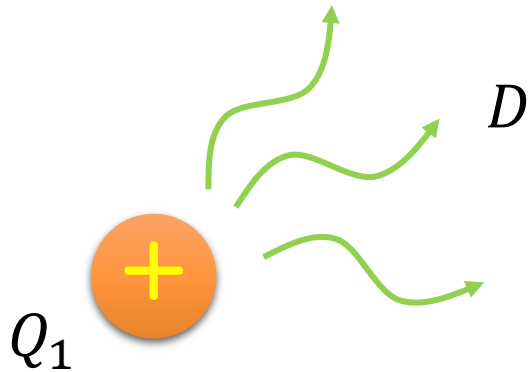
電気力線の接線の向きは電界の向きを表す。



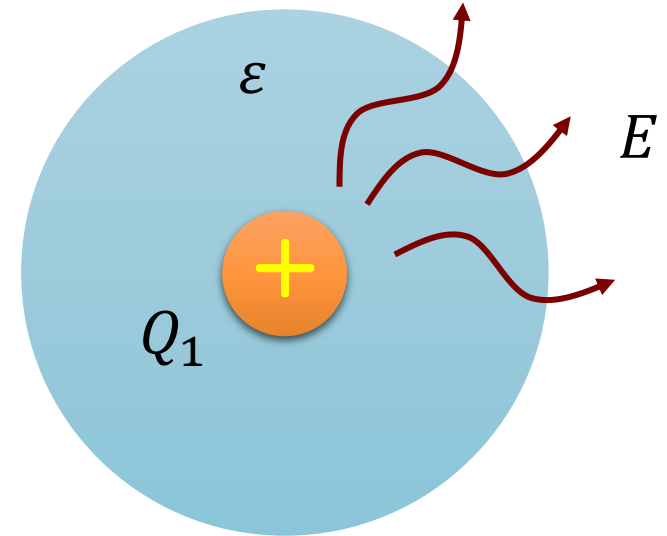
電界と電束密度の違い

電界 $E = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon r^2}$, $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2} = Q_2 E$ E [V/m]

電束密度 $D = \epsilon E = \frac{Q_1}{4\pi r^2}$ D [C/m²]



電荷→電束（電荷を矢印の束と考える）



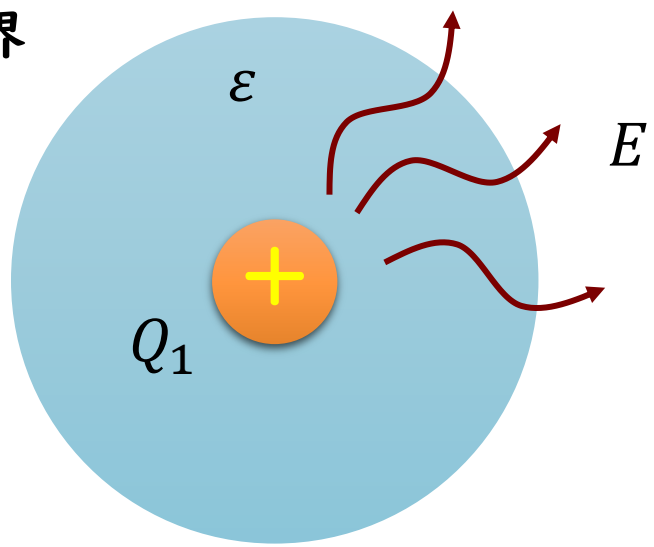
電荷が作る雰囲気→電束密度

電荷とその周りの誘電体
が作る雰囲気→電界

クーロン力の程度を把握する
のに有効

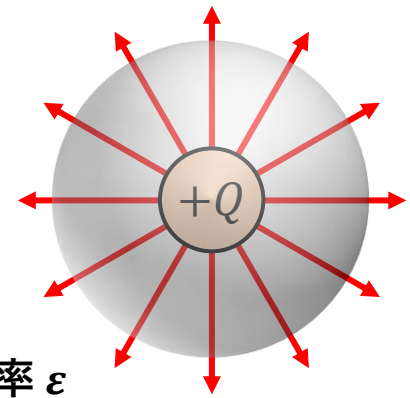
電界と電気力線と電束密度

電界



$$E = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon r^2} \rightarrow 4\pi r^2 E = \frac{Q_1}{\epsilon}$$

球体の表面積 $4\pi r^2$

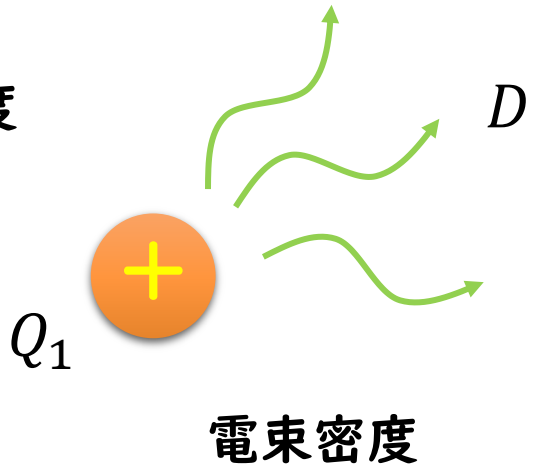


誘電率 ϵ

電気力線の本数 Q/ϵ

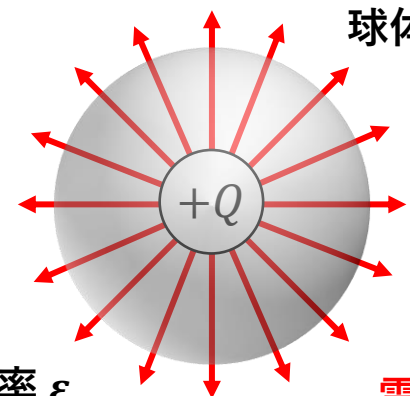
$$\text{電界} = \frac{1}{\text{表面積}} \times \frac{Q}{\epsilon}$$

電束密度



$$D = \frac{Q_1}{4\pi r^2} \rightarrow 4\pi r^2 D = Q_1$$

球体の表面積 $4\pi r^2$



誘電率 ϵ

電束 Q

$$\text{電束密度} = \frac{1}{\text{表面積}} \times Q$$

演習問題5

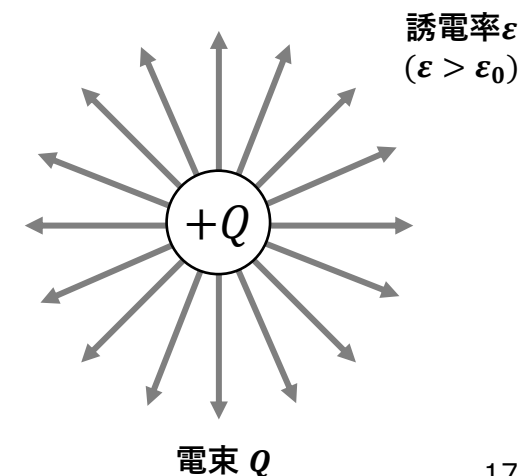
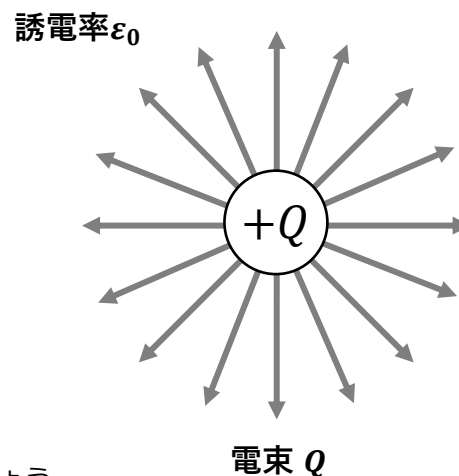
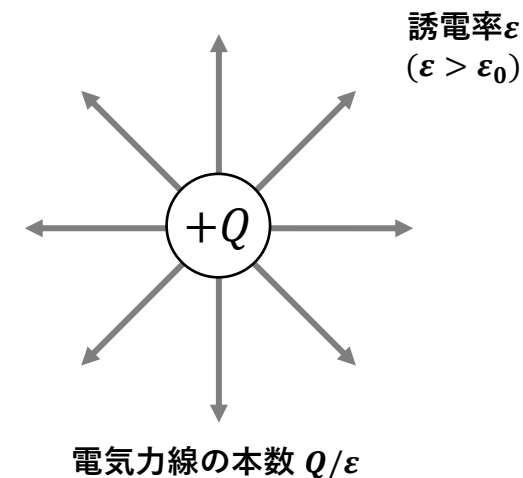
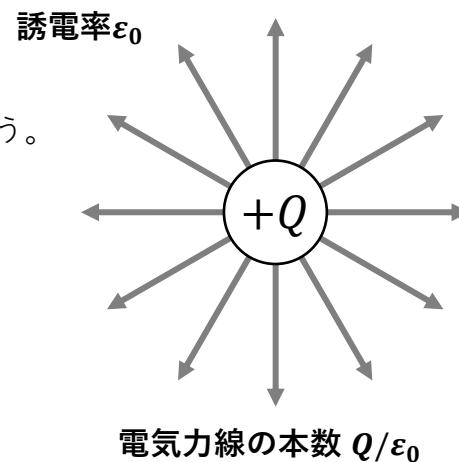
電気力線とは、電荷によって生じる電界の様子を視覚的に表現するための仮想的な力線である。
電気力線には以下のような特徴がある。

- (1) 電気力線は正の電荷（から放出・へ吸収）される。
- (2) （同符号・異符号）の2つの電荷を空間に配置したとき、電荷間の電気力線は反発しあう。
- (3) 任意の点における電気力線の密度は、その点の（電界・電位）の強さを表す。
- (4) 任意の点における電気力線の接線の向きは、その点の（電界・電位）の向きを表す。
- (5) 点電荷による電気力線の本数は、電荷と誘電率の（積・商）と一致する。
- (6) 点電荷による電気力線の本数は、電荷の大きさに（比例・反比例）する。
- (7) 点電荷による電気力線の本数は、誘電率の大きさに（比例・反比例）する。
- (8) 点電荷を真空中または誘電体中に配置する場合、電気力線の本数は（真空中・誘電体中）のほうが多くなる。
- (9) 電気力線に対して、電荷のみを用いた仮想的な力線という概念もあり、これを（電束・電束密度）という。
- (10) 電束の単位は（クーロン・アンペア）である。
- (11) 電束の大きさは、誘電率に（依存する・依存しない）。

演習問題5 (解答)

電気力線とは、電荷によって生じる電界の様子を視覚的に表現するための仮想的な力線である。
電気力線には以下のような特徴がある。

- (1) 電気力線は正の電荷 **から放出** へ吸収) される。
- (2) **同符号**・異符号) の2つの電荷を空間に配置したとき、電荷間の電気力線は反発しあう。
- (3) 任意の点における電気力線の密度は、その点の **電界** 電位) の強さを表す。
- (4) 任意の点における電気力線の接線の向きは、その点の **電界** 電位) の向きを表す。
- (5) 点電荷による電気力線の本数は、電荷と誘電率の (積・**商**) と一致する。
- (6) 点電荷による電気力線の本数は、電荷の大きさに **比例** 反比例) する。
- (7) 点電荷による電気力線の本数は、誘電率の大きさに (比例・**反比例**) する。
- (8) 点電荷を真空中または誘電体中に配置する場合、電気力線の本数は **真空中**・誘電体中) のほうが多くなる。
- (9) 電気力線に対して、電荷のみを用いた仮想的な力線という概念もあり、これを **電束** 電束密度) という。
- (10) 電束の単位は (**クーロン**・アンペア) である。
- (11) 電束の大きさは、誘電率に (依存する **依存しない**) 。



演習問題6

各問の条件に従い、電気力線を描け。

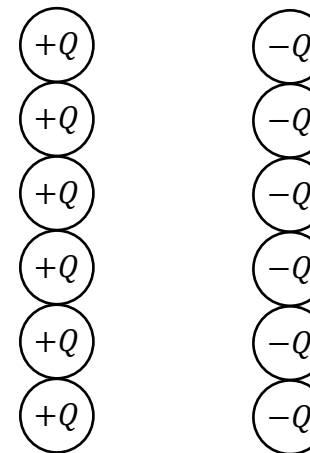
(1) 電荷 $+Q$ と $-Q$ によって生じる電気力線



(2) 2つの電荷 $+Q$ によって生じる電気力線



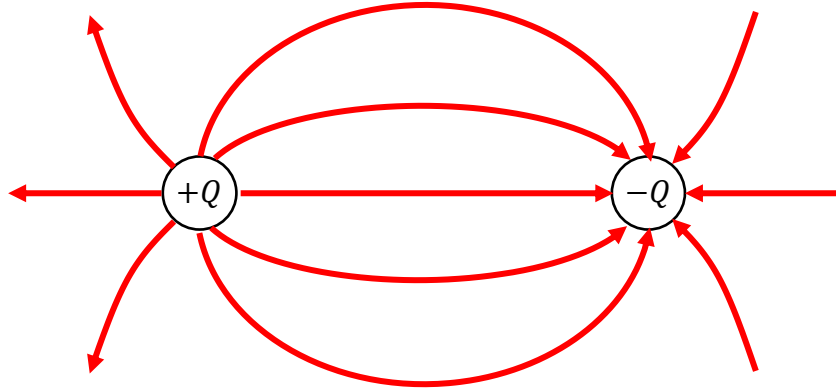
(3) 直線状に並んだ電荷 $+Q$ と $-Q$ によって生じる電気力線



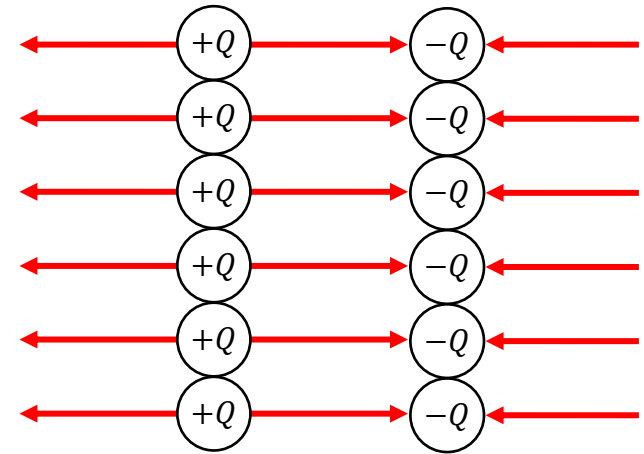
演習問題6 (解答)

各問の条件に従い、電気力線を描け。

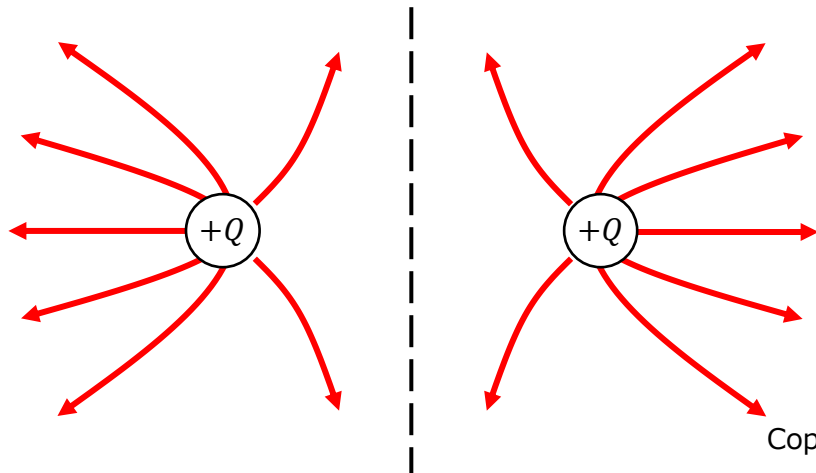
(1) 電荷 $+Q$ と $-Q$ によって生じる電気力線



(3) 直線状に並んだ電荷 $+Q$ と $-Q$ によって生じる電気力線



(2) 2つの電荷 $+Q$ によって生じる電気力線



ご聴講ありがとうございました
ございました!!