

授業予定(変更されたシラバス)

- | | |
|---------------|---------------|
| ①原子の構造と電気力 | ⑨電流が作る磁場1 (小) |
| ②クーロンの法則 | ⑩電流が作る磁場2 |
| ③電場1 (小) | ⑪ローレンツ力1 (小) |
| ④電場2 (小) | ⑫ローレンツ力2 (小) |
| ⑤電位1 (小) | ⑬電磁誘導 (小) |
| ⑥電位2 | ⑭発展 (＋確認試験2) |
| ⑦電流1 (小) | ⑮まとめ |
| ⑧電流2 (＋確認試験1) | ⑯期末試験 |

基礎物理A《学習到達目標》

- 1) 電気力と電場の関係を説明できる。
- 2) 電位と静電エネルギーを説明できる。
- 3) ミクロな視点で電流を説明できる。
- 4) ローレンツ力と磁場(磁束密度)の関係を説明できる。
- 5) 直線電流がつくる磁束密度を図を使って説明できる。

第4回目 電場2

今日の授業の目的

- ⊙ 重ね合わせの原理.
- ⊙ 電気力線の本数 Φ_E の定義を理解する
- ⊙ 点電荷 Q から湧き出す電気力線の本数を求める.
- ⊙ 誘電率 ε を導入する.
- ⊙ 電場に関するガウスの法則.
- ⊙ 平板間の一様な電場の強さを求める.

§ 2 電場

(つづき)

(テキスト p.28～)

2個またはそれ以上の点電荷が置かれている
状況で、電場 $\vec{E}$ はどのように求められるか

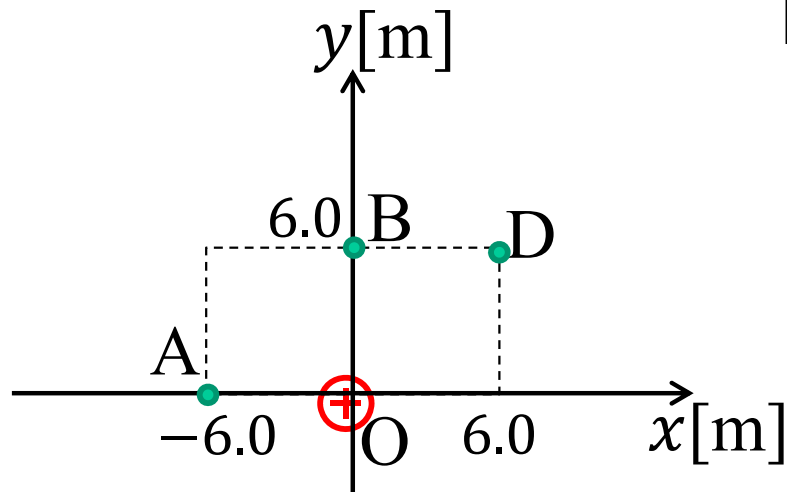


重ねあわせの原理

◇点電荷のまわりの電場(確認)

(テキスト p.17)

真空中の, xy 平面の原点Oに 8.0 C の正電荷が固定されている。



問い 各点A, B, Dにおける電場 $\vec{E}_A$, $\vec{E}_B$, $\vec{E}_D$ の強さと向きを求めよ。
向きは図に示せ。

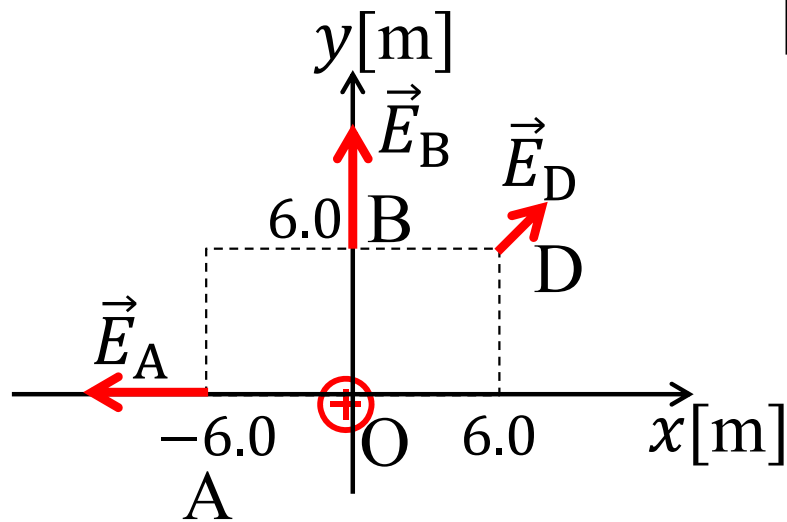
$$k_0 = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

4分

◇点電荷のまわりの電場(確認)

(テキスト p.17)

真空中の, xy 平面の原点Oに 8.0 C の正電荷が固定されている。



問い $\vec{E}_A$, $\vec{E}_B$, $\vec{E}_D$ の強さと向き

$$E_A = E_B = k \frac{Q}{r^2}$$

$$= 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \frac{8.0 \text{ C}}{(6.0 \text{ m})^2}$$

$$= 2.0 \times 10^9 \text{ N/C}$$

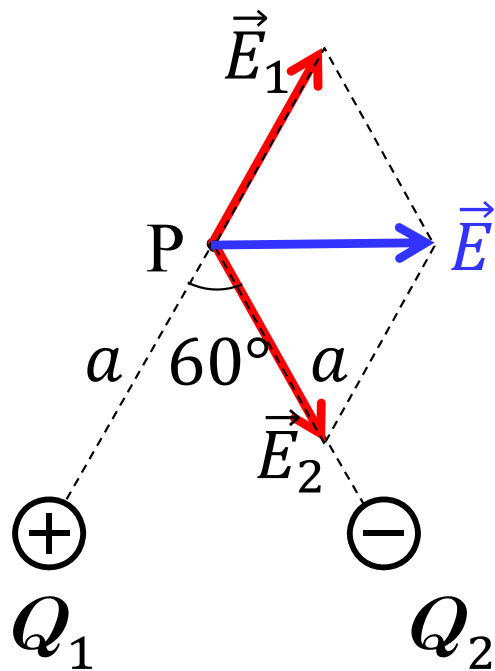
$$E_D = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \frac{8.0 \text{ C}}{(\sqrt{(6.0 \text{ m})^2 + (6.0 \text{ m})^2})^2}$$

$$= 1.0 \times 10^9 \text{ N/C}$$

◇重ね合わせの原理

(テキスト p.19)

2個の電荷が置かれている状況で点Pの電場 $\vec{E}$ は？



点Pの電場 $\vec{E}$ は,

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

平行四辺形の法則を用いて求める。

$Q_1 = +Q$, $Q_2 = -Q$ とする。

$$E_1 = E_2 = k \frac{Q}{a^2}$$

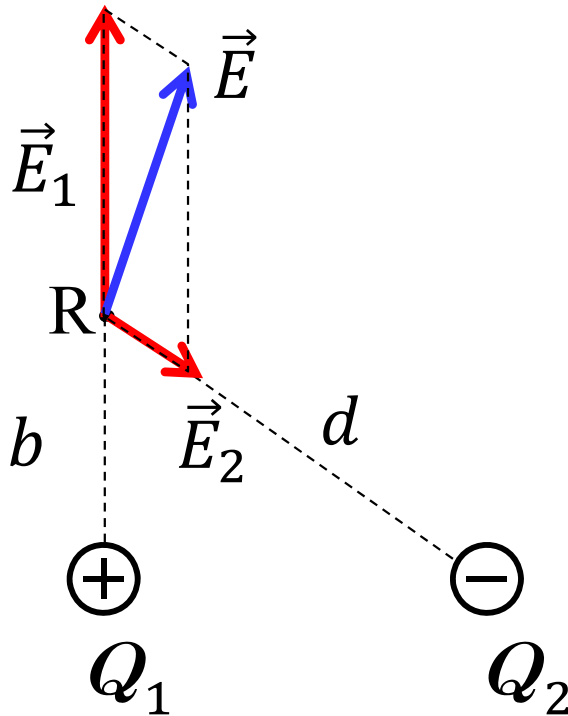
Q_1 -P- Q_2 がなす角が 60° のときは
正三角形の性質より

$$E = E_1 = k \frac{Q}{a^2}$$

◇重ね合わせの原理

(テキスト p.19)

2個またはそれ以上の電荷が置かれている状況
点Rの電場



点Pの電場 $\vec{E}$ は,

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

平行四辺形の法則を用いて求める。

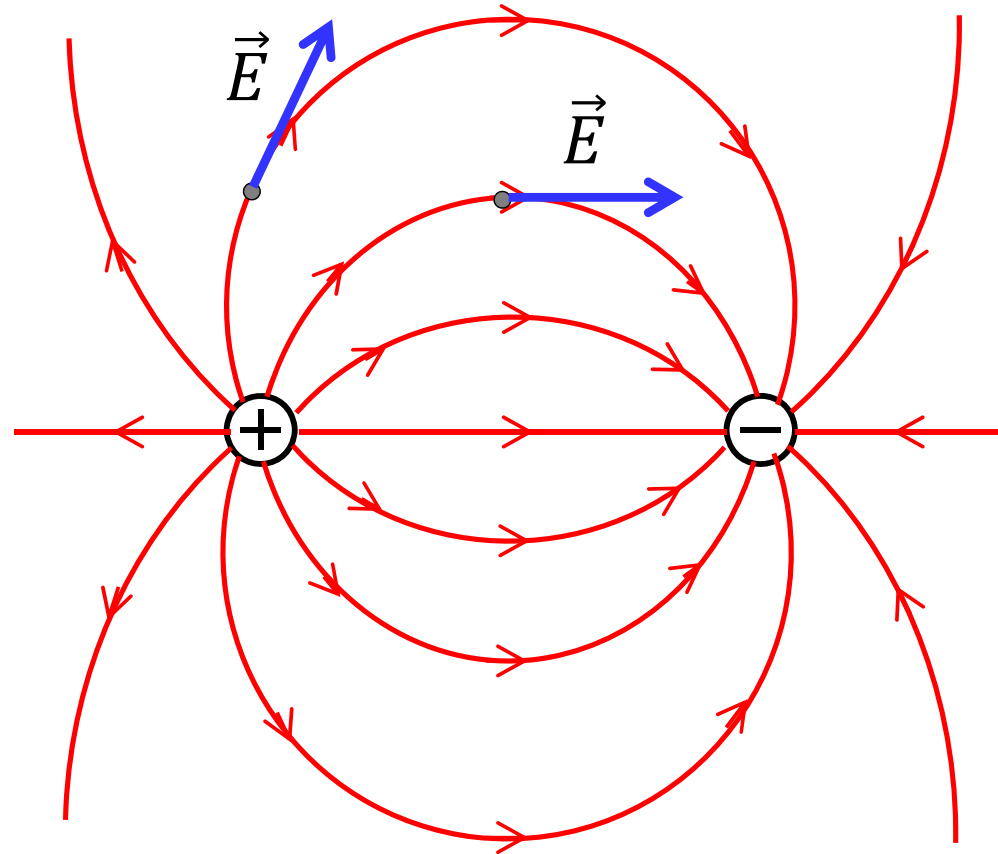
$Q_1 = +Q$, $Q_2 = -Q$ とする。

$$E_1 = k \frac{Q}{b^2}, \quad E_2 = k \frac{Q}{d^2}$$

◇ いろいろな状況での電気力線

(テキスト p.20)

練習 2個の点電荷のまわりの電気力線



正電荷から
湧き出し、
負電荷に
吸い込まれる

電気力線を描くときのコツは水の流れをイメージして
電気力線を引いていくこと

◇重ね合わせの原理

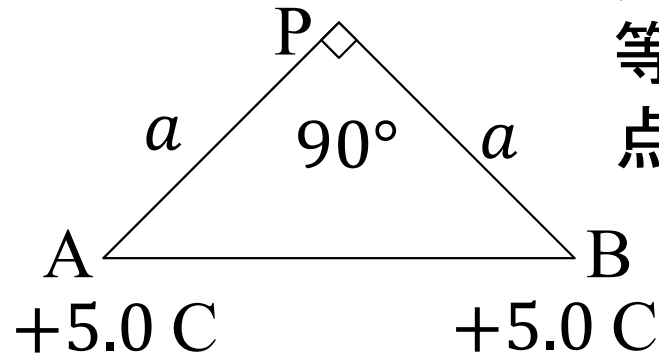
(テキスト p.19)

練習 次の状況での点Pの電場 $\vec{E}$ は？

真空中 直角二等辺三角形ABP

等しい二辺 $a = 3.0\text{m}$

点Aに $+5.0\text{ C}$, 点Bに $+5.0\text{ C}$



$$k_0 = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

各電荷が作る $\vec{E}_1$ と $\vec{E}_2$ を作図する。

平行四辺形の法則を用いて電場

$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ の向きを作図する。

$\vec{E}_1$ と $\vec{E}_2$ の大きさ E_1 , E_2 を求める。

$\vec{E}$ の大きさ E を求める。

(この問題では図形の性質を用いて求められる。)

通分

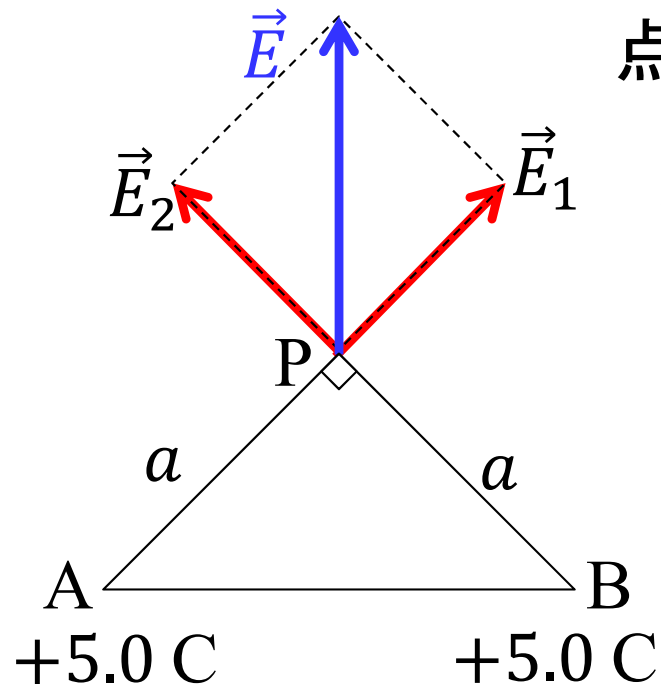
◇重ね合わせの原理

(テキスト p.19)

練習 次の状況での点Pの電場 $\vec{E}$ は？

等しい二辺 $a = 3.0\text{m}$

点Aに $+5.0\text{ C}$, 点Bに $+5.0\text{ C}$



$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ の向きを作図する。

$\vec{E}_1$ と $\vec{E}_2$ の大きさ E_1, E_2

$$E_1 = E_2 = 5.0 \times 10^9 \text{ N/C} \\ = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \frac{5.0 \text{ C}}{(3.0 \text{ m})^2}$$

直角二等辺三角形の性質より

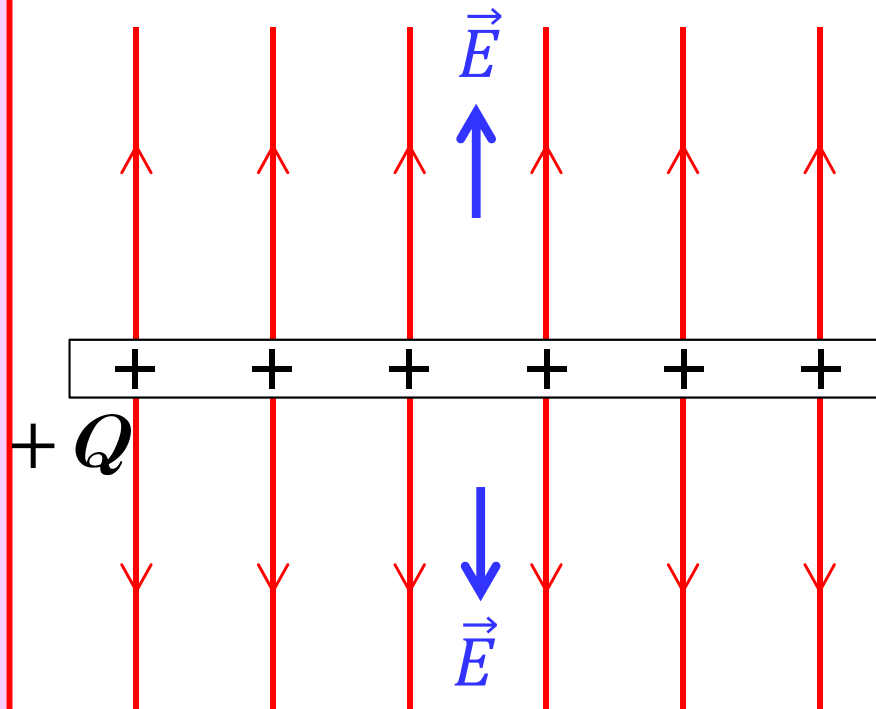
$$E_1 : E = 1 : \sqrt{2} \quad E = \sqrt{2} E_1 = 7.1 \times 10^9 \text{ N/C}$$

◇ 電気力線

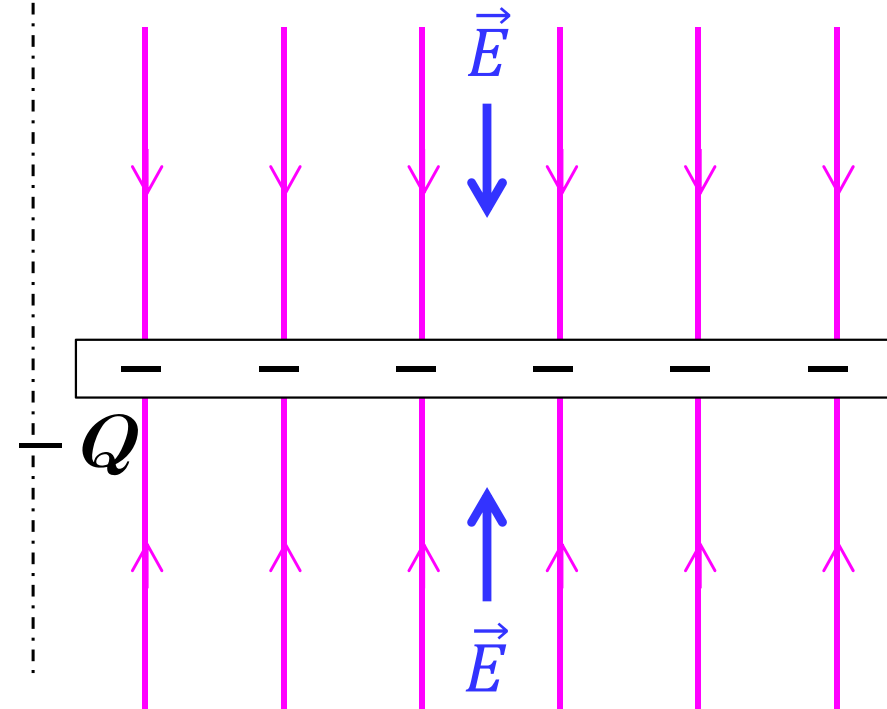
(テキスト p.21)

無限に広い平板上に電荷が一様に分布している場合

$+Q > 0$ の場合



$-Q < 0$ の場合

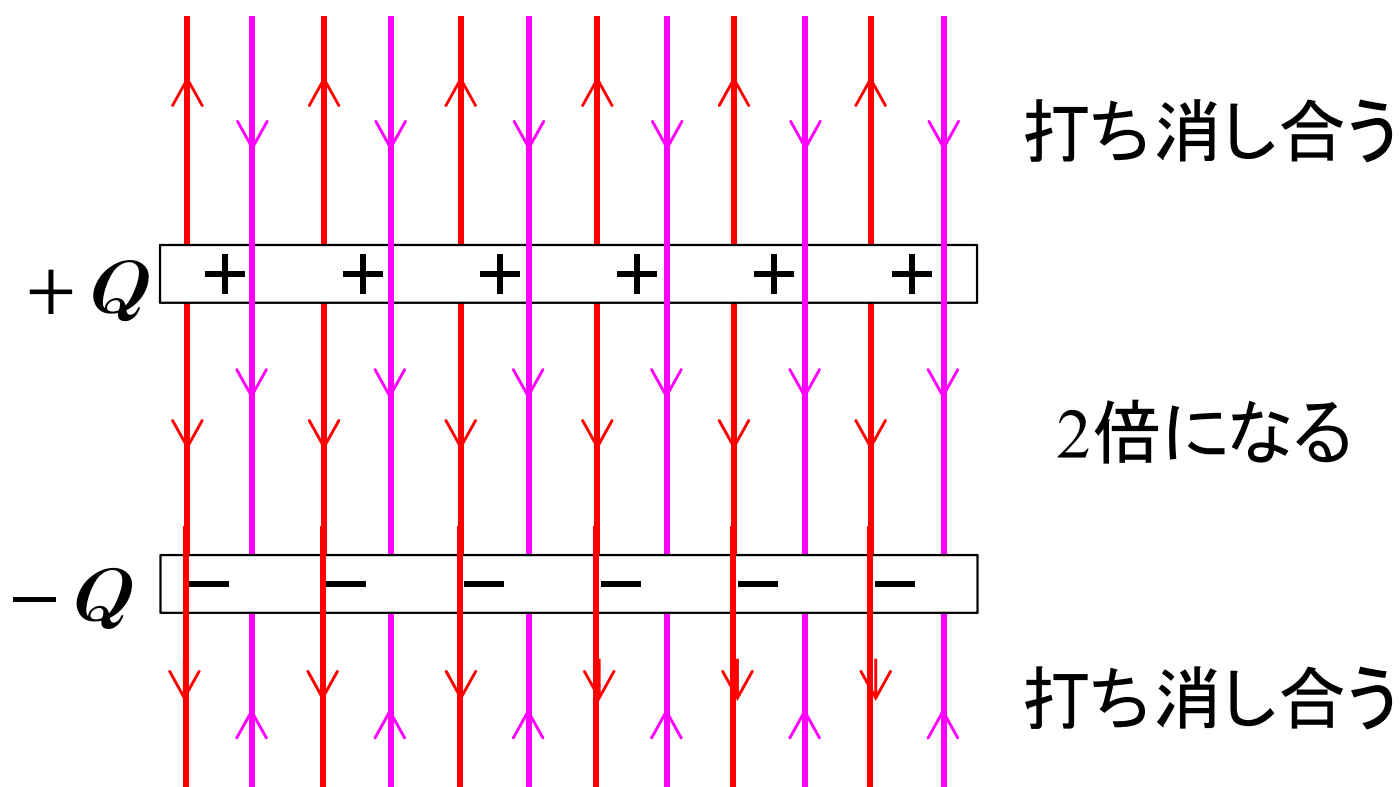


平板に垂直に等間隔で並んでいる。
水が無限に長いすき間から湧き出しているよう。

◇ 電気力線

(テキスト p.21)

向かい合わせると



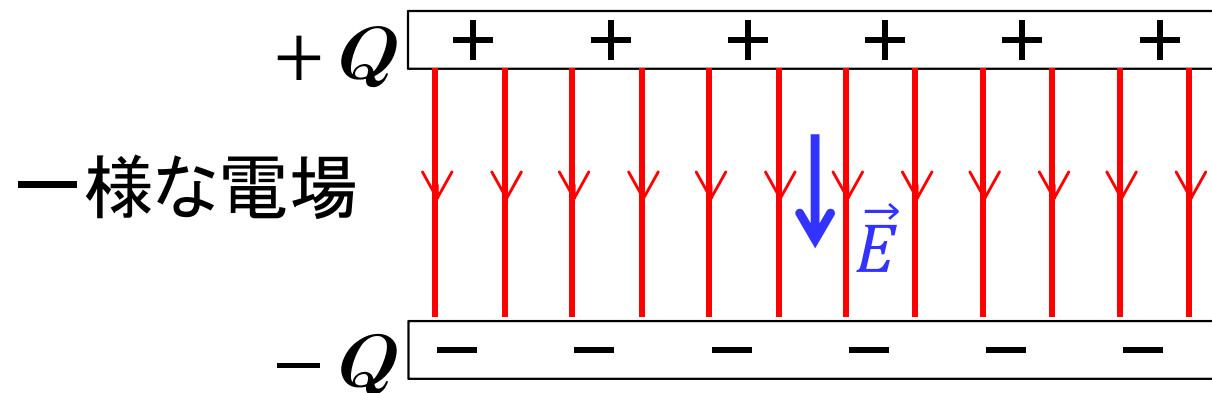
◇ 電気力線

(テキスト p.21)

向かい合わせると
2枚の平板の場合の電気力線

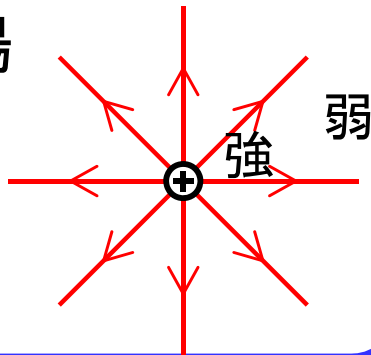
外側は電場ゼロ

打ち消し合う



2倍になる

一様でない
電場



外側は電場ゼロ

打ち消し合う

§ 3 ガウスの法則

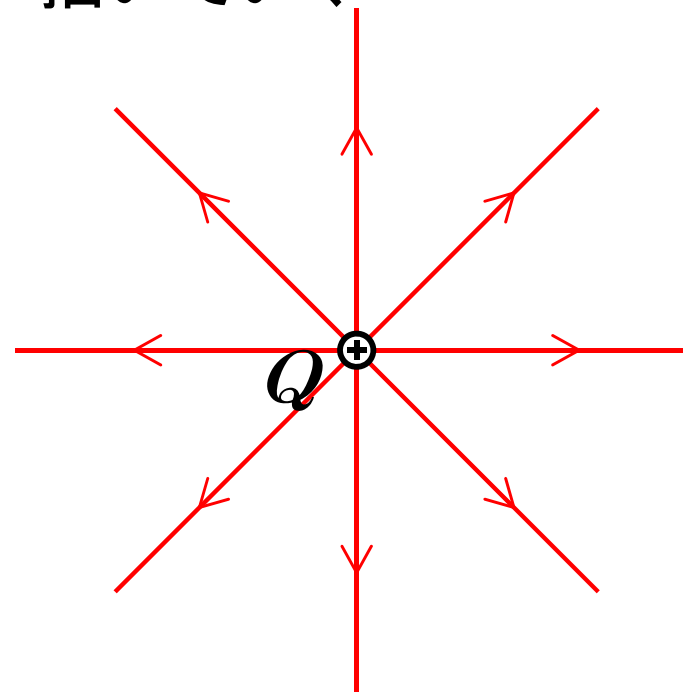
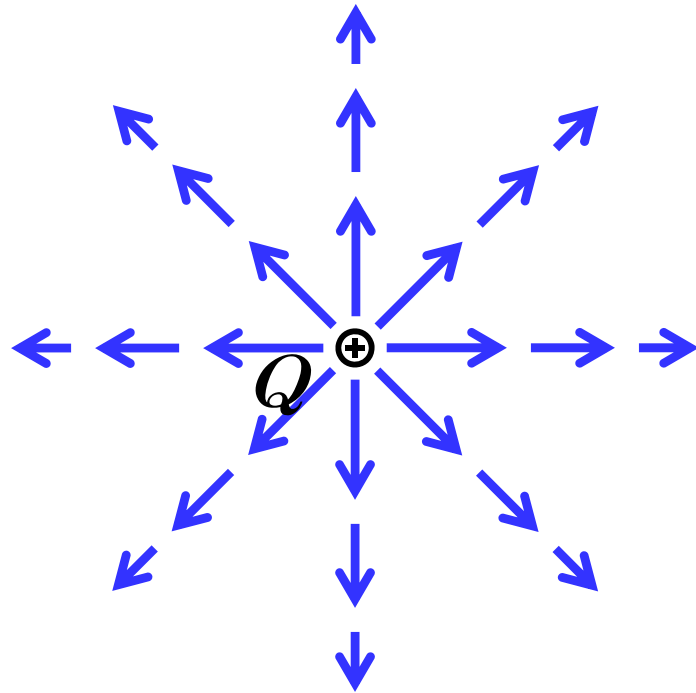
◇ 電気力線

(テキスト p.18～19)

正電荷 $Q > 0$ の周りを
埋め尽くす電場ベクトル



各点での電場の矢印に
沿って向き付きの曲線を
描いていく



電場の強さと電気力線の様子に
どんな関係がありそうですか？

(テキスト p.30～)

積分計算を回避して、電気力線の作図から、
電場の強さを求めたい

電気力線の「本数」について、
いくつかのルールを決めてやると、
電場の強さを求められることを
見つけた。(ファラデー)



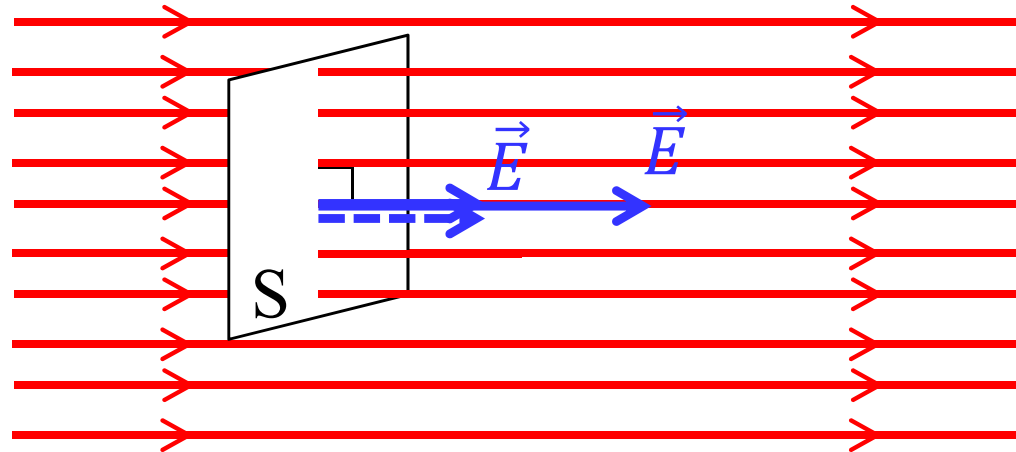
この方法が正しいことを数学で証明し、
数式で表現した。(ガウス)

ガウスの法則

◇電気力線の本数

(テキスト p.30)

「電場の強さ E が大きい場所ほど、
それに比例して多くの電気力線が描かれる」

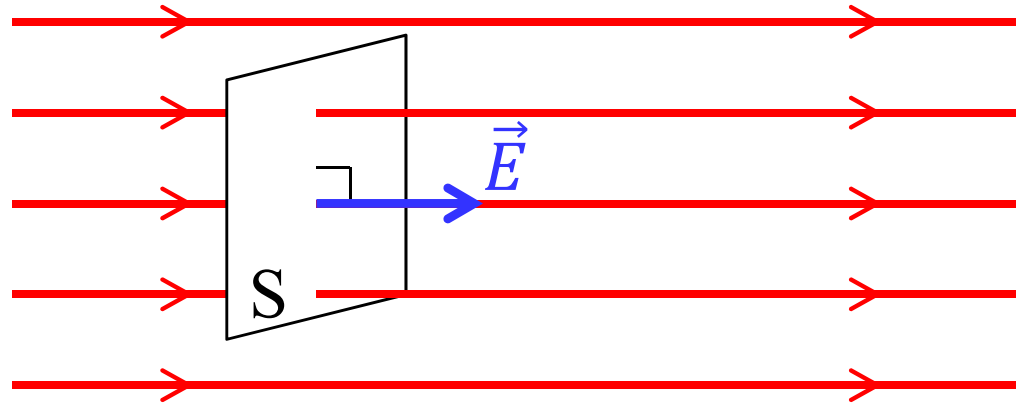


電場の強さ E が2倍であれば、
電気力線の本数も2倍

◇電気力線の本数

(テキスト p.30)

「電場の強さ E が大きい場所ほど、
それに比例して多くの電気力線が描かれる」



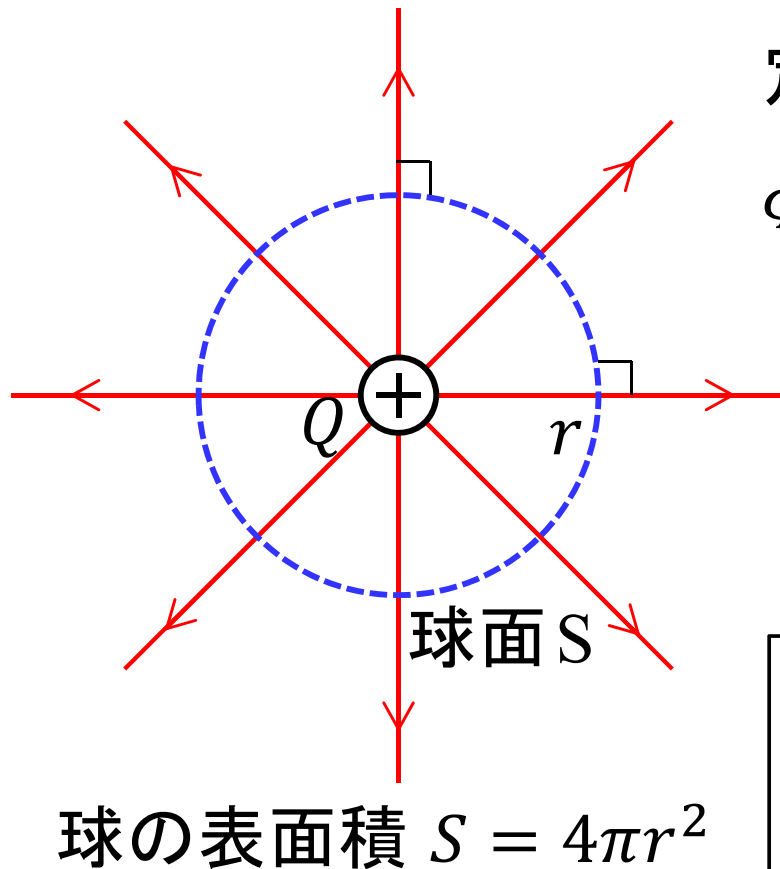
電気力線の本数 Φ_E の定義 (計算を行うために約束しておく)

平面 S が電場 $\vec{E}$
と垂直な場合

$$\Phi_E = E \cdot S$$

$[\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}] (= [\text{本}])$

◇点電荷 Q から湧き出す電気力線 (テキスト p.31～32)
の本数



定義より

$$\begin{aligned}\Phi_E &= E \cdot S = k \frac{Q}{r^2} \cdot 4\pi r^2 \\ &= 4\pi k Q \text{ [N} \cdot \text{m}^2/\text{C]} \text{ ([本])}\end{aligned}$$

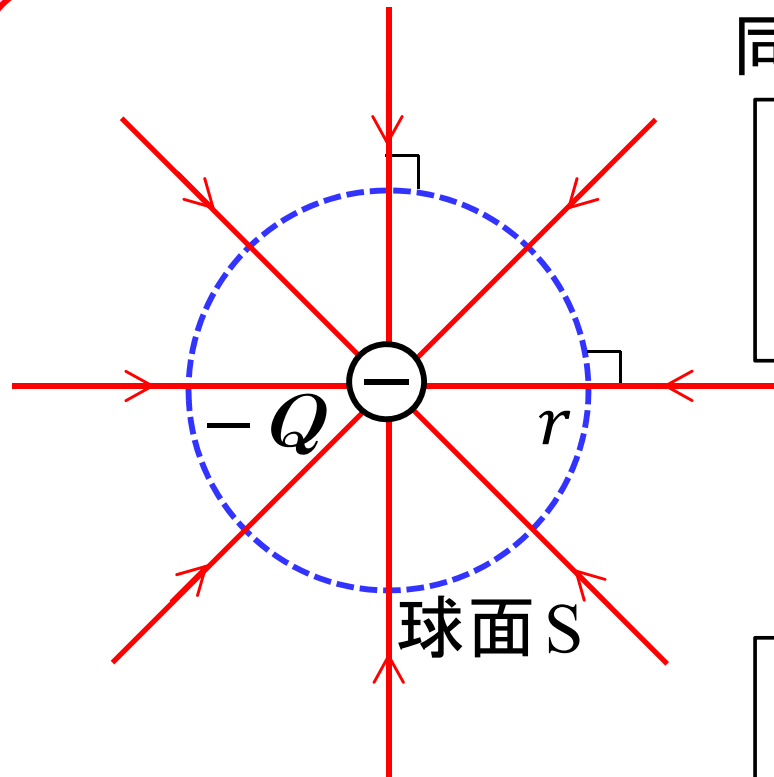
湧き出す

誘電率 $\varepsilon = \frac{1}{4\pi k}$ を用いると

正の点電荷 Q から湧き出す
電気力線の本数は $\frac{Q}{\varepsilon}$ である

◇点電荷 $-Q$ に吸い込まれる
電気力線の本数

(テキスト p.31~32)



同様に

負の点電荷 $-Q$ に吸い込まれる
電気力線の本数は $\frac{Q}{\varepsilon}$ である

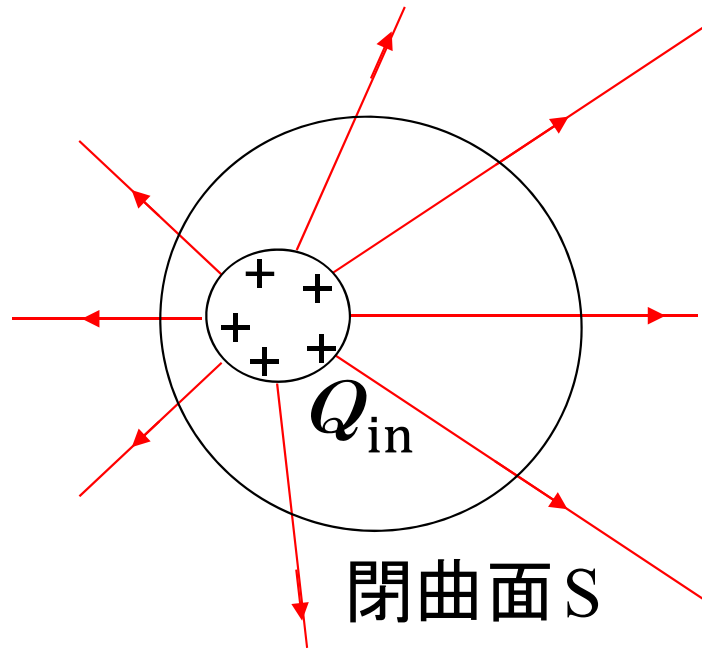
本数+1吸い込まれる
= 本数-1湧き出す と数える



負の点電荷 $-Q$ から湧き出す
電気力線の本数は $-\frac{Q}{\varepsilon}$ である

◇静電場に関するガウスの法則

(テキスト p.33～34)



貫いて入る電気力線は
負の本数が外に出るとして数える

静電場に関するガウスの法則

任意の閉曲面 S に対し、
 S を貫いて外へ出る電気力線
の本数 ϕ_E をとし、
 S の内部にある全電気量 Q_{in}
とする。このとき、

$$\phi_E = \frac{Q_{in}}{\varepsilon}$$

が成り立つ。

(発展)より専門的・理論的に取り扱うときは、積分や
微分を用いて表現する。34ページ参照。

・レポート問題（解答用紙付き）
を必ず持って帰ること

火曜2限の受講生に

本日のレポートの×切は通常通り。

10月22日（火）は授業がない。 [補講：11月2日（土）2時限目]

10月29日（火）は休講。

@D0311講義室

・レポート問題（解答用紙付き）
を必ず持って帰ること

木曜3限の受講生に

本日のレポートの×切は10月23日（水）13時。

10月22日（火）は授業日ではないので。

[補講: 11月2日（土）3時限目]

@D0311講義室