

電磁気学の学習

- 電気現象, 磁気現象・・・目に見えないが我々の世界を作る重要な力
- 場 (Field) の概念 → 電場、磁場
(電界、磁界)
- 基本法則 → 4つのMaxwell 方程式

電気現象



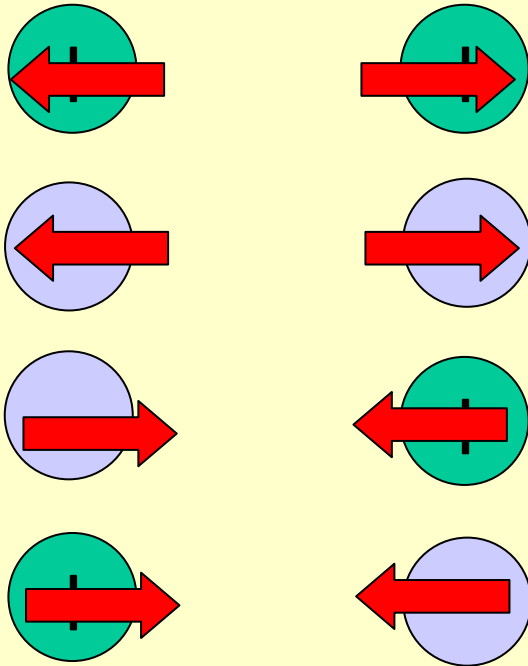
電磁気学



工学院大学の学生のみ利用可：印刷不可：再配布不可 (C)加藤潔 2006

クーロンの法則

- 電荷と電荷の間に力が働く
- 電荷 q 単位[C] クーロン
- 電荷には2種類ある。→ $+$ と $-$
- 同符号 = 反発力、異符号 = 引力。



掛け算の規則
(中学:負の数)

$$2 \times 3 = 6$$

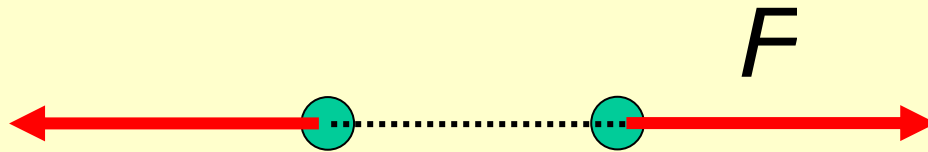
$$(-2) \times 3 = -6$$

$$2 \times (-3) = -6$$

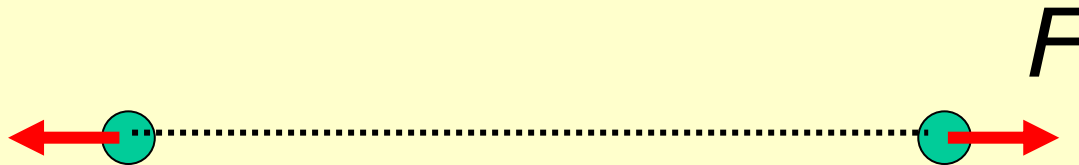
$$(-2) \times (-3) = 6$$

F は $q_1 q_2$ に比例

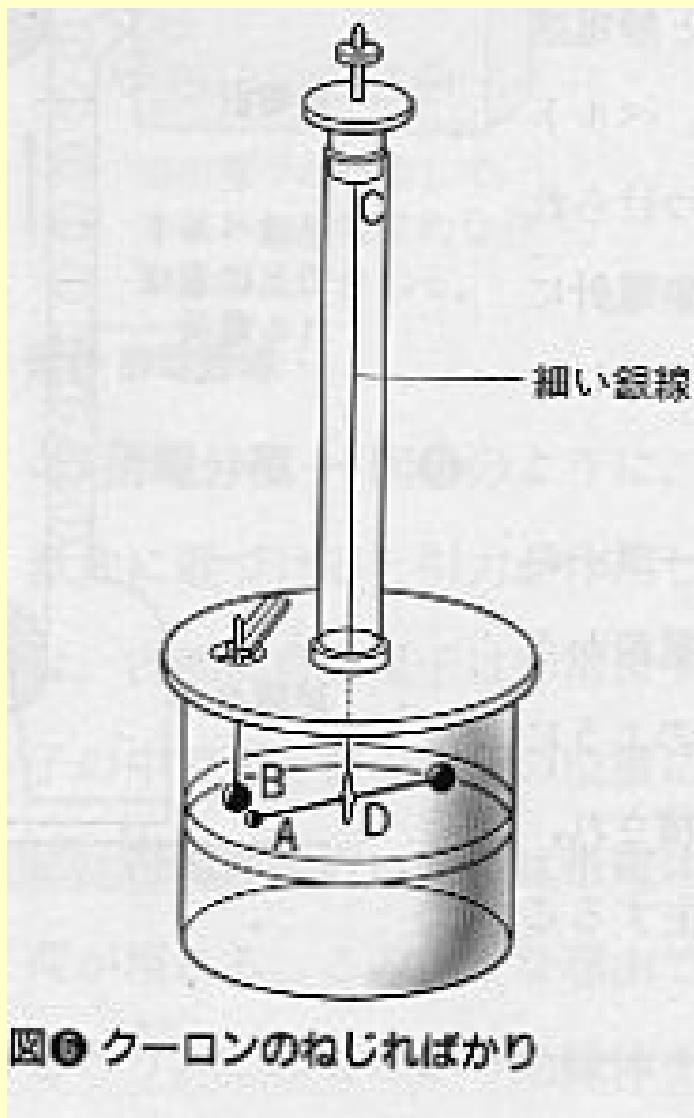
電氣的な力の大きさ



近いと力が強い



遠いと力が弱い

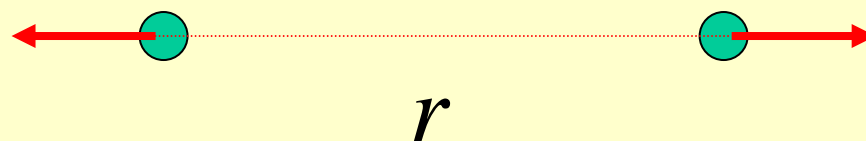


図⑥ クーロンのねじればかり

距離依存性

→測定

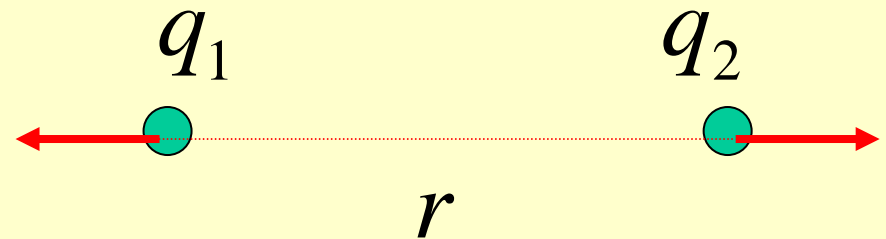
力の大きさ $\frac{1}{r^2}$ に比例



クーロンの法則

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

向きは電荷と
電荷を結ぶ方向



ポテンシャルエネルギー

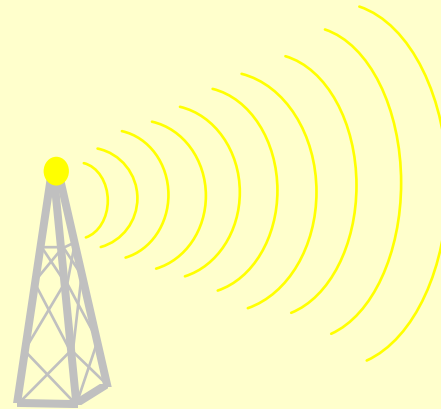
$$U = k \frac{q_1 q_2}{r}$$

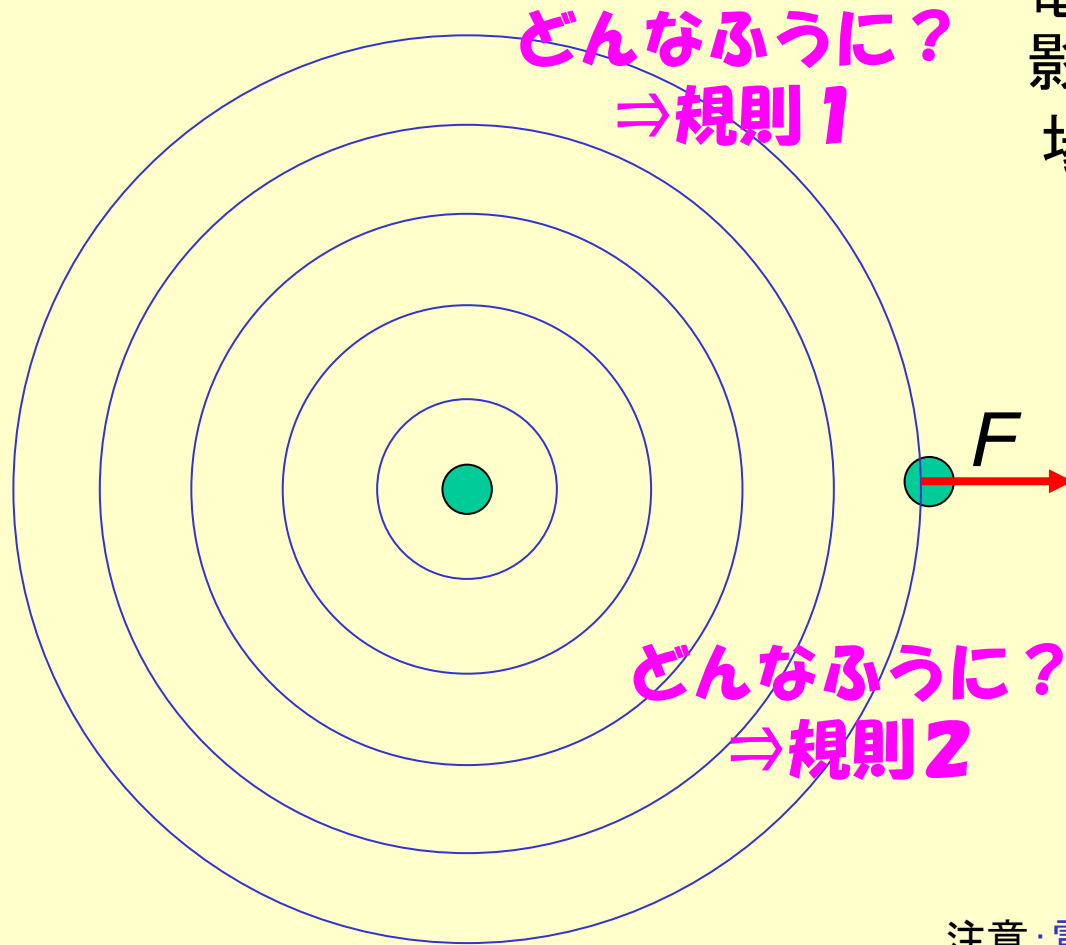
比例係数

$$k = 9.0 \times 10^9 [\text{Nm}^2 / \text{C}^2]$$

場 (Field) : 現代物理学の中核的概念

- 力は場である
- 場は実在である





どんなふう to ?
⇒規則1

電荷から、電氣的な
影響力の勢力圏(電
場:青円で表示)が
広がっていく

どんなふう to ?
⇒規則2

もう1つの電荷は
自分の位置の電
場から力を受ける

注意:電荷はお互いに対等なので、
右と左の電荷の役割を逆にして考
えてもよいので、お互いに力が働く

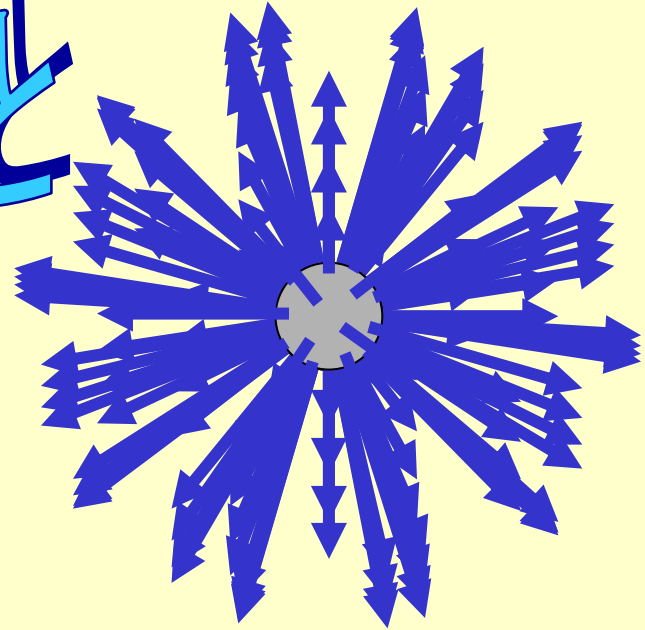
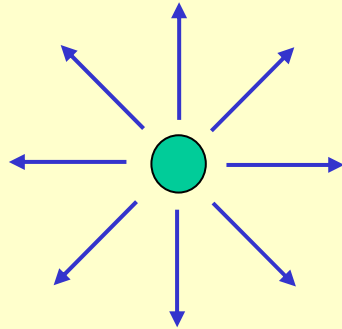
[規則1] 点電荷の作る電場

電荷 q が原点にあるとき

$$\vec{E} = \begin{cases} \text{大きさ} & k \frac{q}{r^2} \\ \text{向き} & \text{電荷から放射状} \end{cases}$$

3次元的に考えること

イメージ
栗のイガ
ウニの棘



$$\vec{E} = \begin{cases} \text{大きさ} & k \frac{q}{r^2} \\ \text{向き} & \text{電荷から放射状} \end{cases}$$

[規則2] 電場による力

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

電荷 q に働く力

電場はベクトル場

単位 V/m ($=N/C$)

電場の様子



正電荷

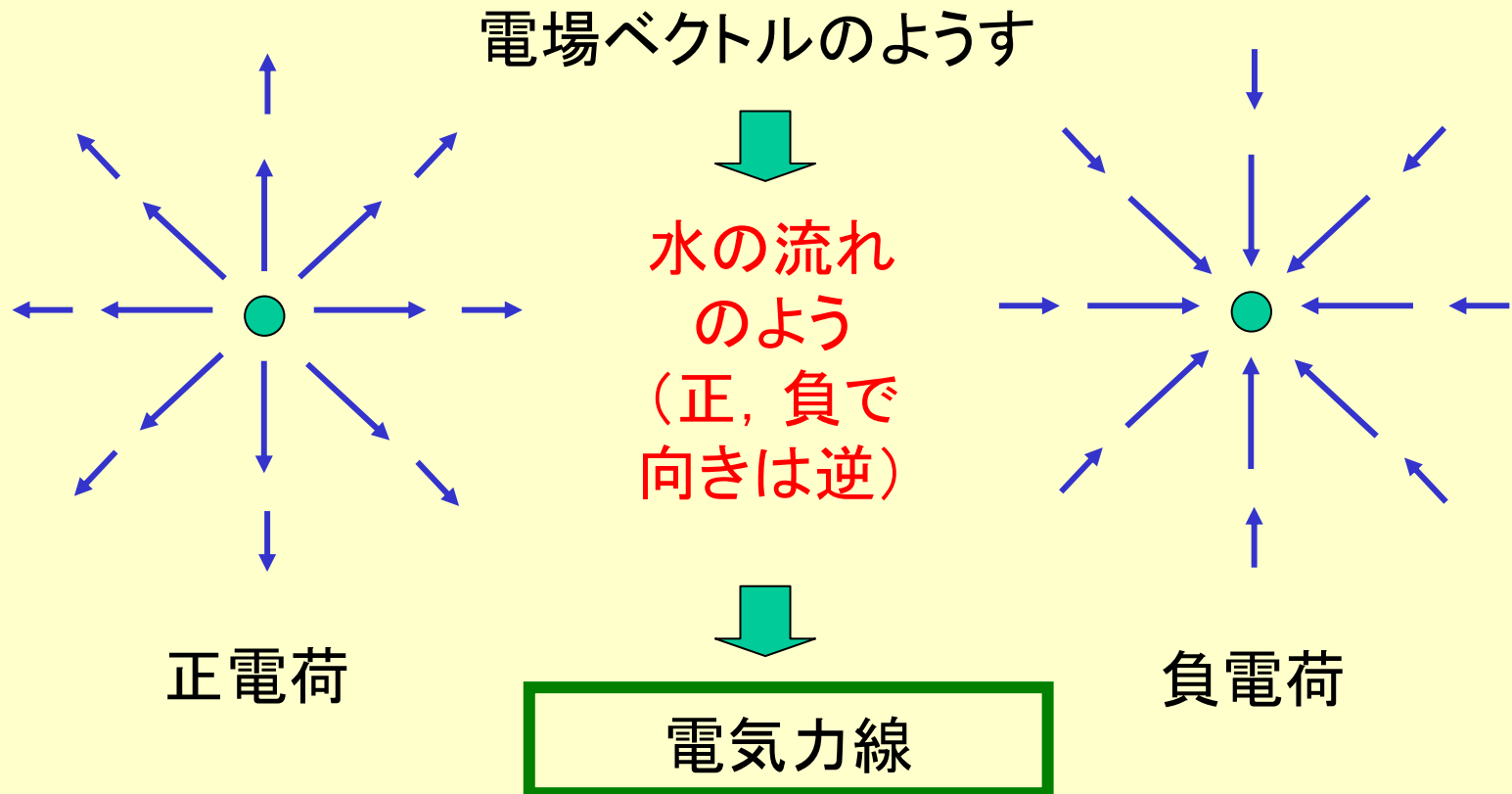
正電荷と負電荷



正電荷2個

2つの導体板

電気力線



ガウスの法則

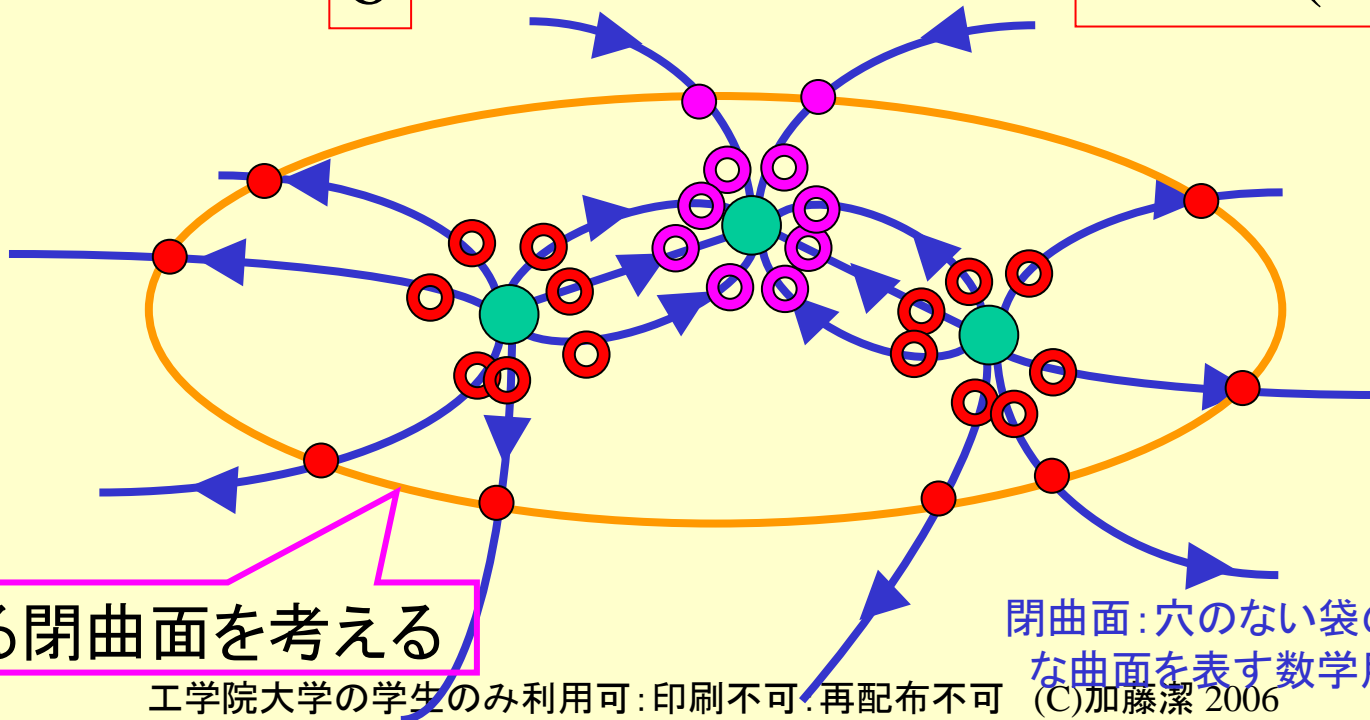
閉曲面を外向きに通
り抜ける力線の数

6

⇔
等しい

電荷から生じ
る力線の数

$$7 + 7 + (-8) = 6$$



ある閉曲面を考える

閉曲面: 穴のない袋のよ
うな曲面を表す数学用語

ガウスの法則

任意の電荷分布, 任意の閉曲面について

閉曲面の表面を横
切る電気力線の量

=

閉曲面の内部の電荷か
ら生じる電気力線の量

電場

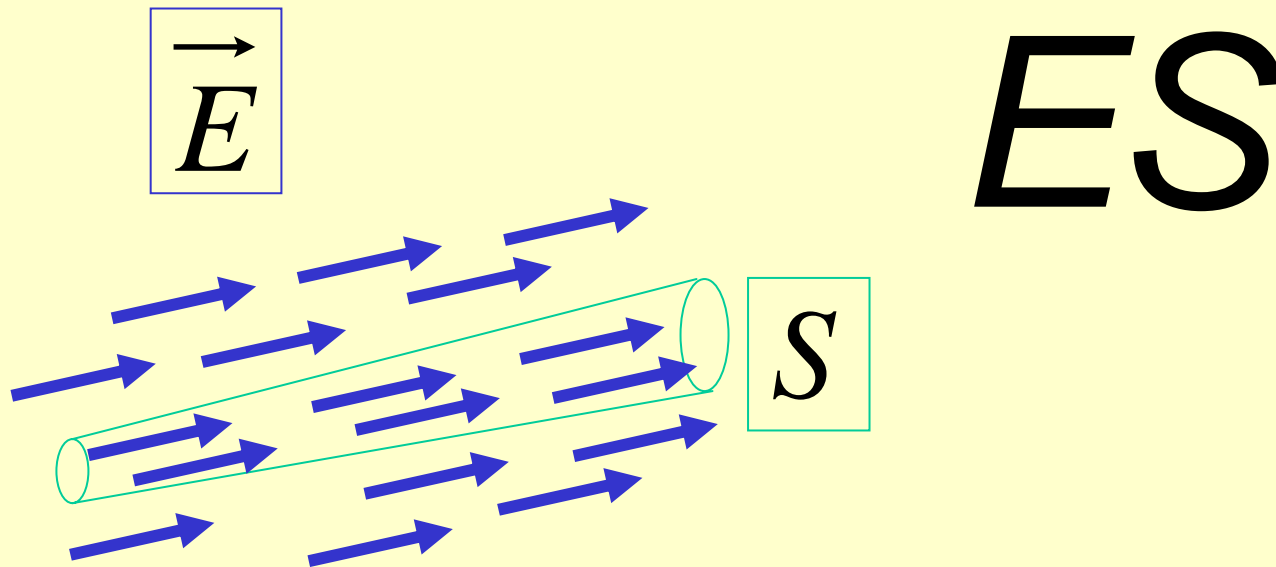
←関係→

電荷

電気現象の
基本量

電場の源

電気力線の量



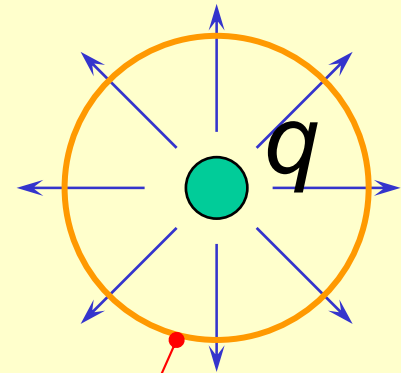
電気力線の量: 1つの電荷

電気力

幾何学

$$ES = k \frac{q}{r^2} \times 4\pi r^2 = 4\pi kq$$

一定の値



半径rの球面

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

真空誘
電率

$$ES = \frac{q}{\epsilon_0}$$

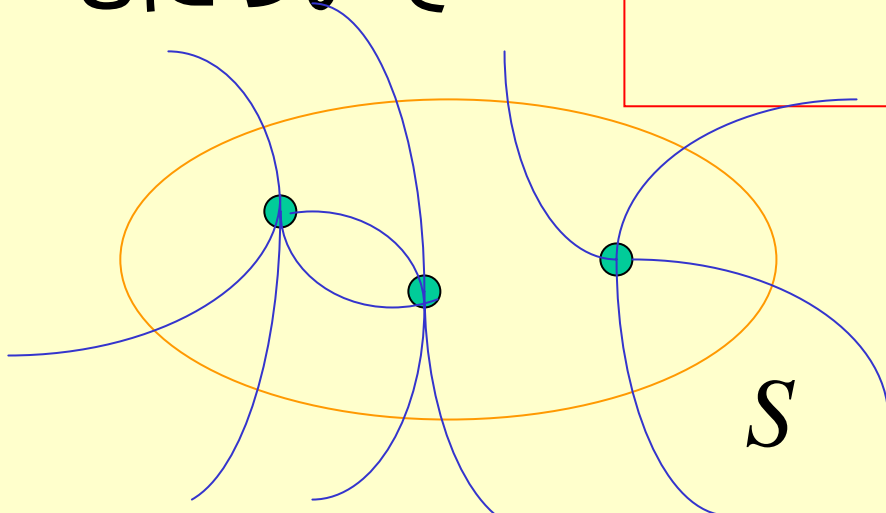
ガウスの法則(まとめ)

電磁気学の基本的法則

Maxwellの方程式の4つの柱の1つ

任意の閉曲面
Sについて

$$\sum E \cdot ES = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \frac{q}{\epsilon_0}$$



左辺は閉曲面Sを
適宜分割した和

右辺は閉曲面S
の内部の電荷の
和

電束密度

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}$$

力線を表現
する場

電束の量の定義 DS

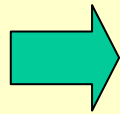
電荷 q から出る電束の量 q

ガウスの法則

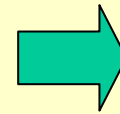
$$\sum D_n \Delta S = \sum q$$

ガウスの法則の意義

ガウスの法則



点電荷の電場は以下となる



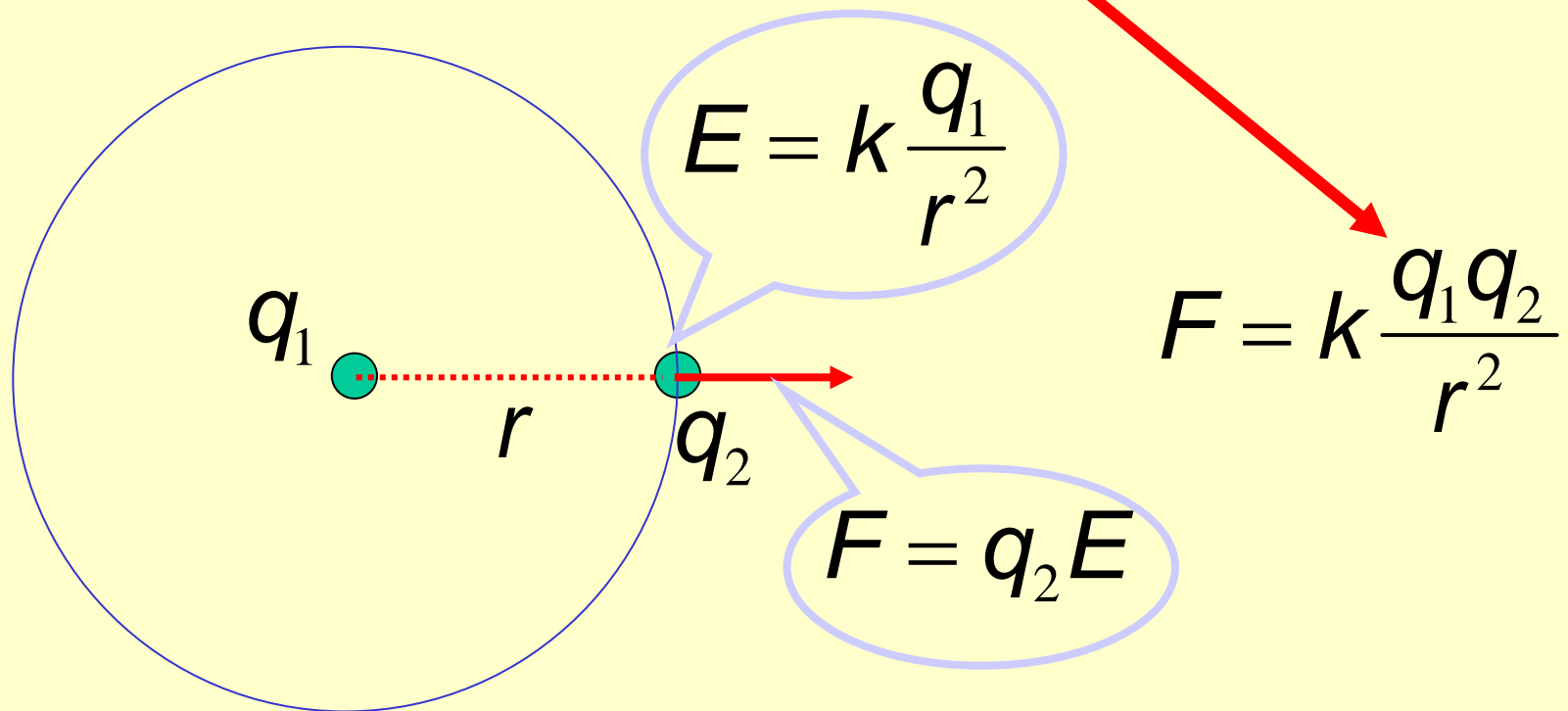
クーロンの法則が導出される

$$E \propto \frac{q}{r^2}$$

ガウスの法則が電磁気学の基本的法則
Maxwellの方程式の4つの柱の1つ



クーロンの法則の再現

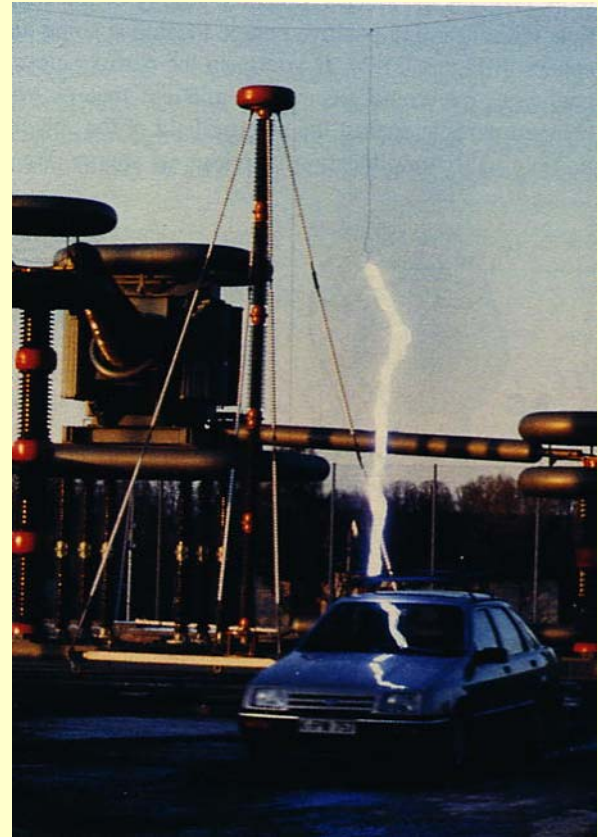


物理現象は1つしかないので、電場の考え方を使っても、「電荷の間に働く力」は同一である

電場

導体(金属)があるとき

導体内部の静電場は0



近接作用論(場の考え方)

- 電荷は電場を作る (他の電荷の存在と無関係に、自分の「意志」で周囲の空間に場を作る。)
- 電荷は電場から力を受ける (電場が生じた原因には「無関心」で、自分の存在する位置の電場を感じる。)



電気力線の量: 精密化

- 電場ベクトルの向き
- 電場が場所により変化するとき
→ 基本パターン (p. 18)

ES

