

12. 電界と電位

〈a〉クーロンの法則 (教科書 II P.68-70、問題集 P.156-163)

大きさが無視できるような小さな帯電体を点電荷と呼ぶ。

二つの点電荷の間にはたらく静電気力 F は、それぞれの電気量 Q 、 q の積に比例し、互いの距離 r の 2 乗に反比例する。

クーロンの法則

$$F =$$

電気量 Q 、 q の単位 : [C]
 距離 r の単位 : [m]
 力 F の単位 : [N]

真空中でのクーロンの法則の比例定数

$$k_0 = \quad \text{Nm}^2/\text{C}^2$$

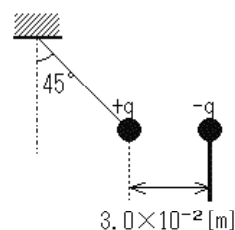
Q 、 q を正電荷で正、負電荷で負とすると F は斥力のとき

, 引力のとき

本来の定義では 1 ^{アンペア} A の電流が 1 秒間に運ぶ電気量を 1 ^{クーロン} C とする。

【問】真空中で 1 C の電気量をもつ 2 物体を、1 m 離して置くととき、2 物体の及ぼし合う力の大きさは何 N か。

【問】図のように、電荷 $+q$ をもつ小球 A に糸をつけてつるし、電荷 $-q$ をもつ小球 B を近付けると、糸が鉛直線と 45° の角をなして静止した。A の質量が 2.0×10^{-4} kg、A B 間の距離が 3.0×10^{-2} m であるとき、 q は何 C か。



電気素量 (素電荷) : 電気量の最小単位。すべての電気量はこの整数倍。

電子や陽子をもつ電気量の大きさ

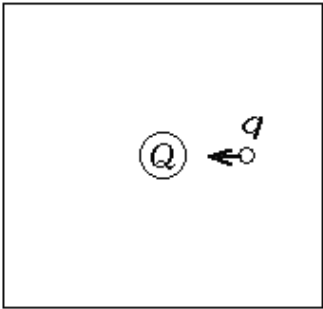
$$e = \quad \text{C}$$

【問】普通の物質の質量はほとんど陽子と中性子の質量である。陽子と中性子はほぼ同じ質量であり、普通の物質には両者がほぼ同数ずつ含まれることを考慮して、60kg の人体内の陽子数を求めよ。もしも電子がこれより 1% だけ少ないとすると、その人体の帯電量は何 C になるか。陽子の質量を 1.7×10^{-27} kg とする。

《b》電界 (教科書 II P.70-76、問題集 P.156-163)

「場」の考え方 : 静電気力は空間の電界(電場)によって伝えられる。

電氣的な作用は空間を飛び越えて直接作用するのではない。 Q が q に静電気力を及ぼすときには、まず Q が周囲の空間の性質を変え(電場を生じる)、それを q が感じる、と二段階に分けて考える。



真上から見ると、たわみが生じていることがわからないので q は Q から直接力を受けたように見える。このたわみが電界に相当する。

真上から見ると・・・

重力や磁気力についても場の考え方が適用される。(重力場、磁界)

電界(電場)

電荷 Q が作る電界を E 、それにより電荷 q が受ける静電気力を F とする。

電界の定義 $F =$ 電界 E の単位 []

電界は大きさと共に向きを持つベクトル量で E で表す。ベクトル合成が可能。

{	正電荷 + q が電界 E から受ける力 F の向き	E と		向き
	負電荷 - q が電界 E から受ける力 F の向き	E と		向き

点電荷の作る電界

クーロンの法則 $F =$ \longrightarrow $F = q \cdot$

点電荷 Q がその周囲に作る電界 $E =$ \longleftarrow $F = qE$ と比較して

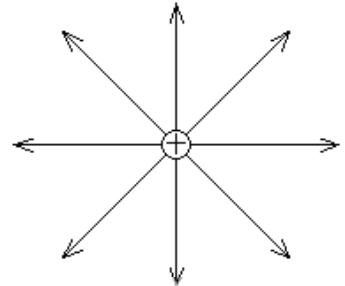
正電荷の周囲の電界ベクトルは 向き、負電荷の周囲では 向き。

《c》電気力線 (教科書ⅡP.73-76、問題集P.156-163)

電界のようすを図示する方法の一つに**電気力線**による方法がある。電気力線は、電界のあるところで、小さな正の**試験電荷**を電界から受ける力の向き(電界の向き)に静かに移動させていくとき描かれる有向曲線群である。

電気力線と電界ベクトルの関係

電界の向き：
電界の強さ：



電気力線の性質

正電荷から出て、負電荷へ入る。
出る(入る)本数は、電荷の電気量に比例する。
途中で枝分かれしたり、交叉したり、とぎれたりしない。
電気力線どうしは反発し合い、それぞれの電気力線は縮もうとする。

【作業1】正負等量の点電荷が作る電界を電気力線で表せ。A付近とB付近ではどちらが電界が強いのか。

【作業2】二つの等量の正電荷が作る電界を電気力線で表せ。中点O付近の電界はどうなっているのか。



【問】一様な電界(強さも向きもいたるところ一定の電界)を表す電気力線はどのようなになるか。

《d》電位 (教科書 II P.77-85、問題集 P.156-163)

電位 電界内での高さに相当する量

静電気力は保存力であり、電気量に比例した位置エネルギーが定義できる。

電気量 q が基準点に対してもつ位置エネルギー

$$U =$$

単位
ジュール
[J]

このときの V をその点の電位という。単位は $[V]$ 。

ある点と他の点の電位の差を電位差(電圧)という。

点電荷の周囲での電位

点電荷 Q から距離 r の点での電位

$$V =$$

(無限遠を $0V$ とする)
[V]

【作業3】 $Q = +1 \times 10^{-8}C$ の点電荷の周囲での電位 V のグラフを描け。 r は実寸。

(5cm × 12cm の方眼紙を貼る)

Q (点電荷の位置)

【作業4】電位の等しい点を連ねた線を等電位線という。上のグラフの電界について $2 \times 10^3 V$ ごとの等電位線を示せ。

(半径 4cm の円形グラフ用紙を貼る)

一様な電界における電界と電位の関係

一様な電界 E のもとで静電気力 F にさからって電荷 q を距離 d だけ動かす。このときにしなければならない仕事 W を求めよう。

電荷が電界から受ける静電気力

$$F =$$

静電気力にさからってする仕事
(= 位置エネルギーの増加)

$$W =$$

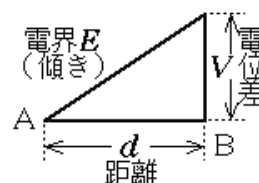
一様な電界内での距離 d の間の電位差

$$V =$$

注) 電界 E は電位 V の傾きに相当し、**電位勾配** こうばい と呼ばれる。

$$E = \frac{V \text{ [V]}}{d \text{ [m]}}$$

電界の単位は [N/C] でも [V/m] でもよい。



電気力線と等電位線

電気力線は静電気力の向きに平行である

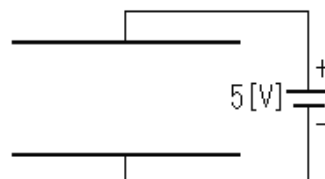
等電位線にそって電荷を動かす仕事は 0

力に垂直な方向に動くとき仕事は 0

電気力線と等電位線は

【作業 5】作業 4 の図に電気力線を記入せよ。

【問】右図のように平行に向かい合わせた 2 枚の金属板に 5 V の電池をつなぐ。金属板間の電気力線と 1 V ごとの等電位線を描け。負の電極を電位の基準 (0 V) とする。



電流が流れていない導体の内部はいたるところ等電位で、電界は 0 である。このとき導体表面は一つの等電位面となる。電荷は導体表面にのみ現れる。

《まとめ》

一般公式（定義式 いつでも成り立つ）

重力との対応

静電気力と電界	$F =$
位置エネルギーと電位（差）	$U =$
仕事と電位（差）	$W =$

$$F = mg$$

$$U = mgh$$

$$W = mgh$$

一様な電界と点電荷の作る電界（場合により使い分ける）

	単位	一様な電界	点電荷の作る電界
電界（ベクトル）		$E =$	$E =$
電位		$V =$	$V =$

〈e〉ガウスの定理（教科書ⅡP.74-75、問題集P.156-163）

電気力線の定量化：電界の強さが E の所では、電気力線に垂直な面積 1 m^2 あたり E 本の電気力線が分布するように本数を定める。
すなわち **電気力線密度 = 電界の強さ** となるようにする。

点電荷の周囲の電界の場合

電気量 $Q[\text{C}]$ の点電荷からは何本の電気力線が出ているかを求めてみよう。

点電荷から距離 $r[\text{m}]$ の点での電界の強さ
（単位面積あたりの電気力線の本数）

$$E =$$

半径 r の球の表面積

$$S =$$

球の表面を貫く電気力線の総数

$$N =$$

ガウスの定理

一般に、総量 Q の電荷から出る電気力線の総数は 本である。

この定理は点電荷のみならず、任意の電荷分布について成り立つ。

【問】大きさのある金属球（半径 R ）の表面に均等に分布した総量 Q の電荷が、金属球の内外に作る電界の強さを求めてみよう。金属球の周囲および内部の、電界・電位のグラフの概形を描け。