

第19章 電荷と電氣的力

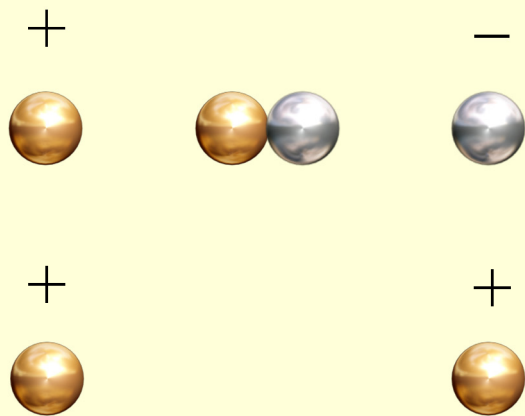


摩擦電気と電荷

電荷

電荷とは、電気を持った最小単位物質をさし、最も小さな単位を**点電荷**(電荷と略すことが多い)または**荷電粒子**という。この電荷は + または - の電気力を持つ。

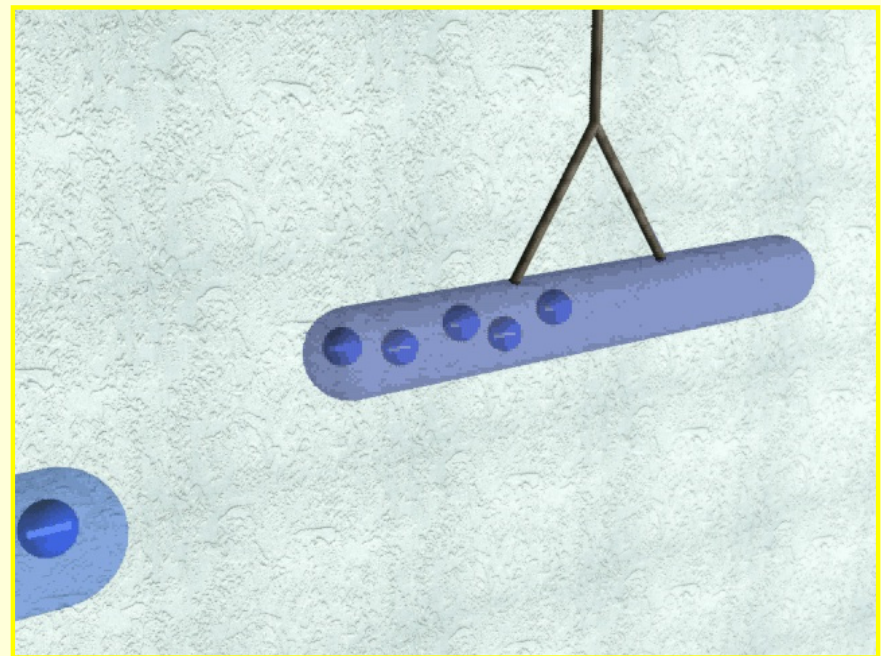
異なる符号の電荷は引き合い、同じものは反発する性質をもつ。



摩擦電気

物質は電氣的構成を持っている原子・分子からなり、2つの物体を摩擦し合うと、その間で電子の授受が行われ、電気が生じる。

+ 毛布、ガラス、綿、紙、絹、
金属、ゴム、こはく、
エボナイト、セルロイド -

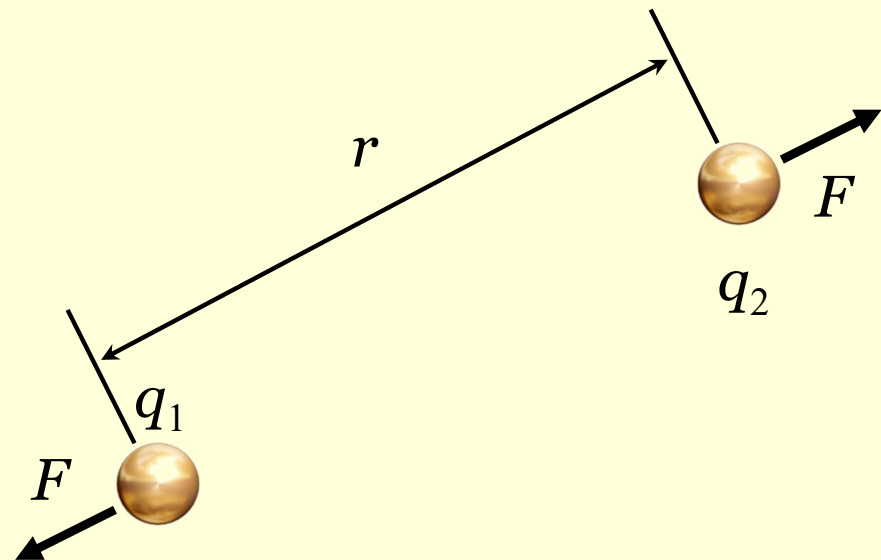


クーロンの法則(電荷による力)

帯電した2つの小球A、Bを、球の大きさが両球間の距離に比べて十分無視できるほど小さいな状態で、A、Bそれぞれの電荷を q_1 、 q_2 、距離を r とすると、A、B間に働く力 F は、

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

となる、ただし、 $F > 0$ のときは斥力、 $F < 0$ のときは引力である。このように、「2つの点電荷の間に働く電気力は、それらがもつ電荷の積に比例し、それらの距離の2乗に反比例する。」こととなる。これを**クーロン(Coulomb)の法則**といい、この法則に従う電気力のことをクーロン力という。



q_1 、 q_2 が+、+または-、-だと斥力
 q_1 、 q_2 が+、-または-、+だと引力

比例定数 k をクーロン定数といい、光速 $c = 3.0 \times 10^8$ [m/s] を用いて、

$$k = c^2 \times 10^{-7} [\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2] \\ = 9.0 \times 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2]$$

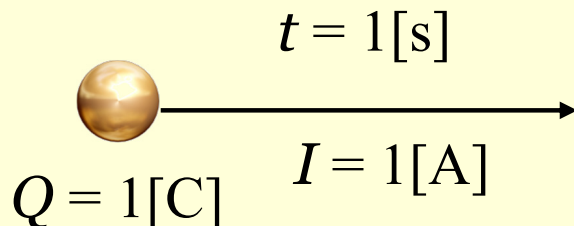
となる。

単位とクーロン

MKSA単位系

実用単位であるMKS単位系に電流 I の単位 A(アンペア)を加えた **MKSA単位系**が一般的に用いられる。このMKSA単位系を用いると、電気量の単位は、時間 $t = 1[s]$ の間に電流 $I = 1[A]$ が運ぶ電荷 Q で表され、これを1[C(クーロン)]とする。

$$I = \frac{dQ}{dt}$$



真空の誘電率

クーロン定数 k は一般的に、

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

と書かれることが多い。ここで、 ϵ_0 は**真空の誘電率**といい、その値は、

$$\epsilon_0 = 8.854185 \times 10^{-12} [C^2/N \cdot m^2]$$

となる。この誘電率を用いると、クーロンの法則は、

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

となる。

静電場

電荷が分布している空間の任意の点Pに電荷を置くと、この電荷にクーロン力が作用する。このような空間を**電界**(工学的な言い方)もしくは**電場**(理学的な言い方)という。電界 E 中に $q[C]$ の点電荷を置いたとき、電荷に比例した**クーロン力** F が働く。電界とクーロン力は共に向きがあり、正電荷の場合はその方向が一致するためベクトルを用いて表すと、

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

となる。

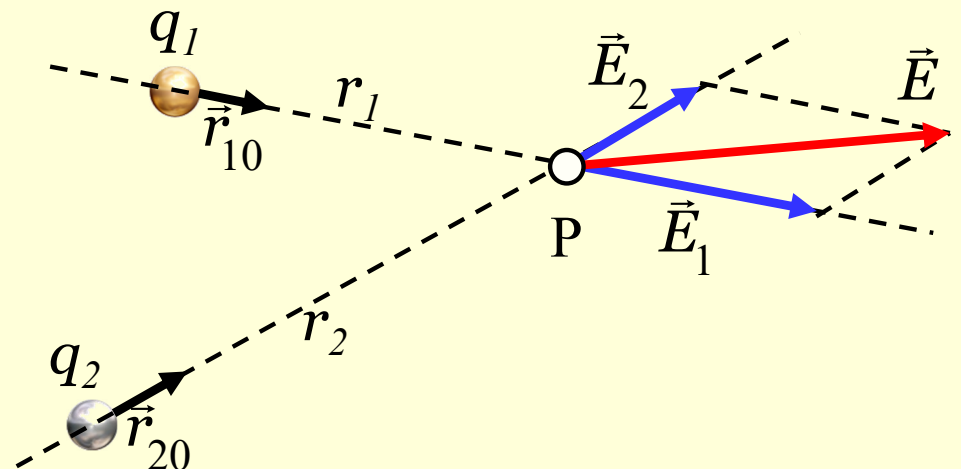
電界の単位は $[N/C]$ であるが、電圧の単位である $[V]$ を用いて、 $[V/m]$ で表されることが多い。

クーロンの法則より、点電荷 $q[C]$ が距離 $r[m]$ 離れた点に作る電界は、

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \vec{r}_0$$

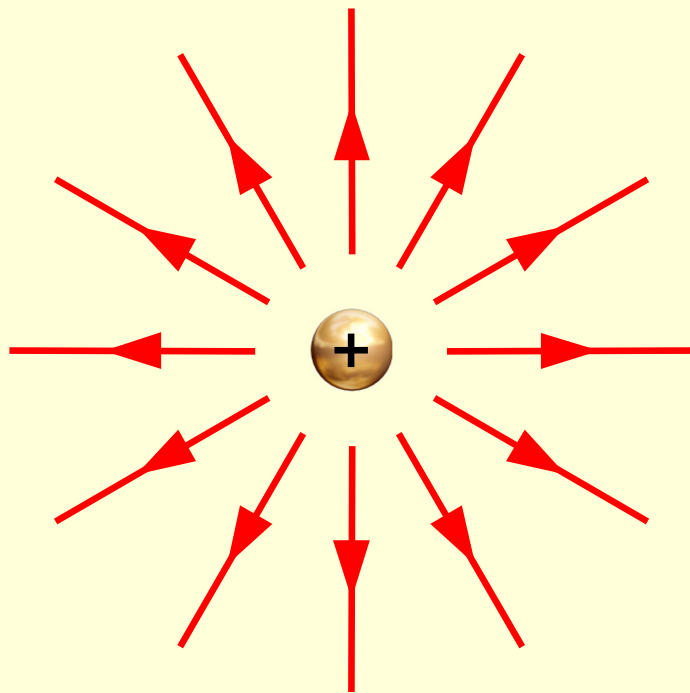
となる。ここで \vec{r}_0 は点電荷から点Pに向かう単位ベクトルである。

多くの点電荷 q_1, q_2, q_3, \dots が点Pに作る電界 E は、それぞれの電荷 q_i の作る電界 E_i のベクトルを合成したものとなる。



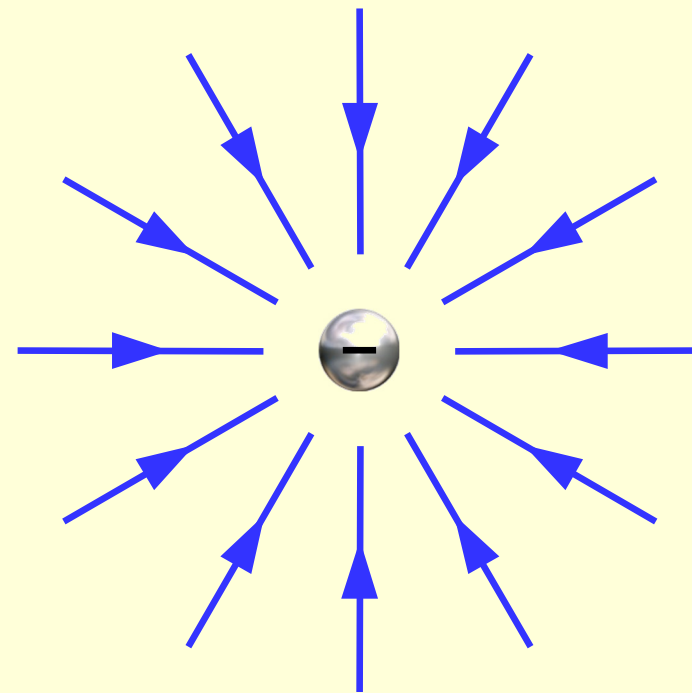
電気力線

電界の中で、任意の点における接線が、その点の電界 E の方向と一致するものを電気力線という。電界の向きから、電気力線は+の電荷から出て-の電荷に入る。



(a) 正電荷

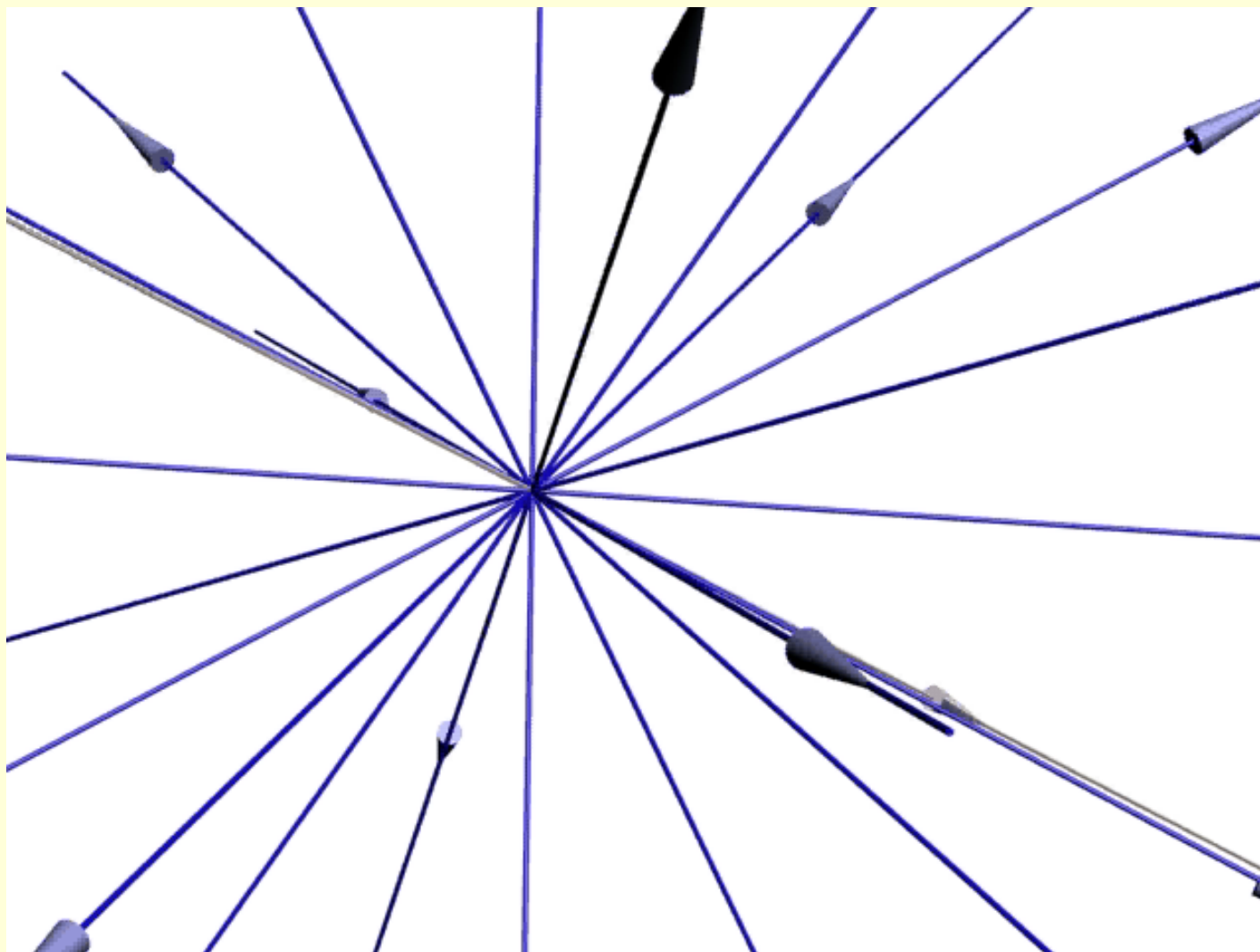
+電荷は外向きの電気力線になる。



(b) 負電荷

-電荷は内向きの電気力線になる。

点電荷の電気力線

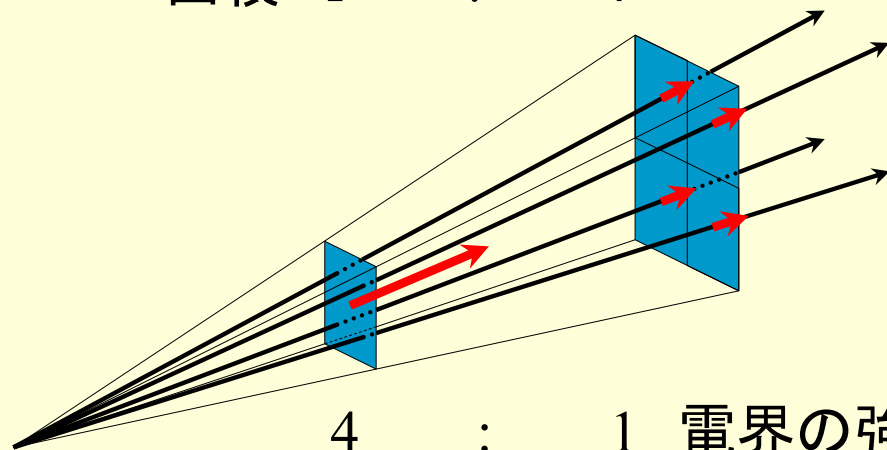


電気力線は、電荷の量に比例し、全ての方向に広がる。

電気力線の性質

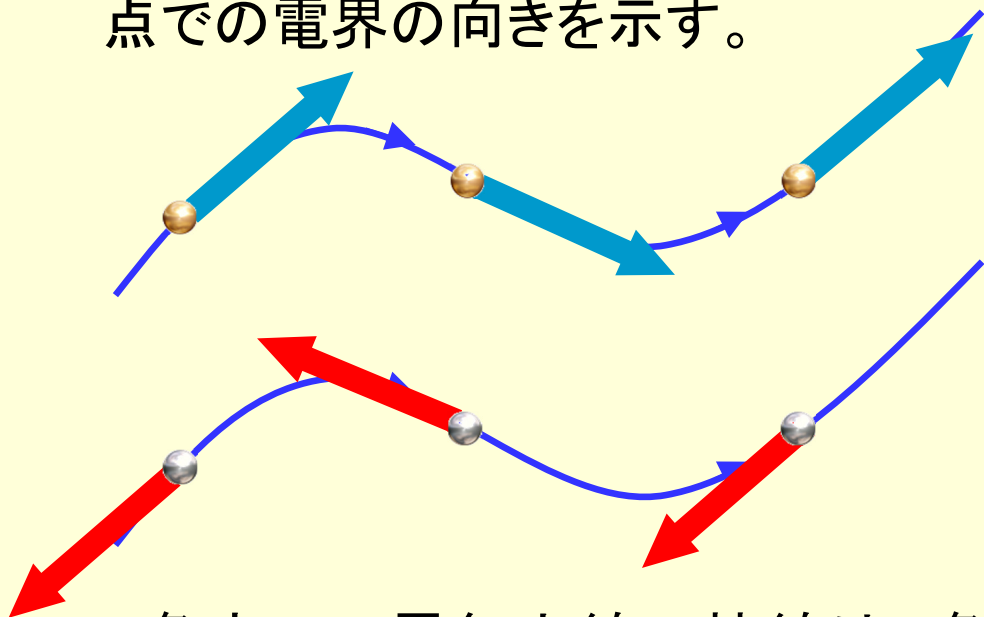
電気力線の密度

面積 1 : 4



4 : 1 電界の強さ

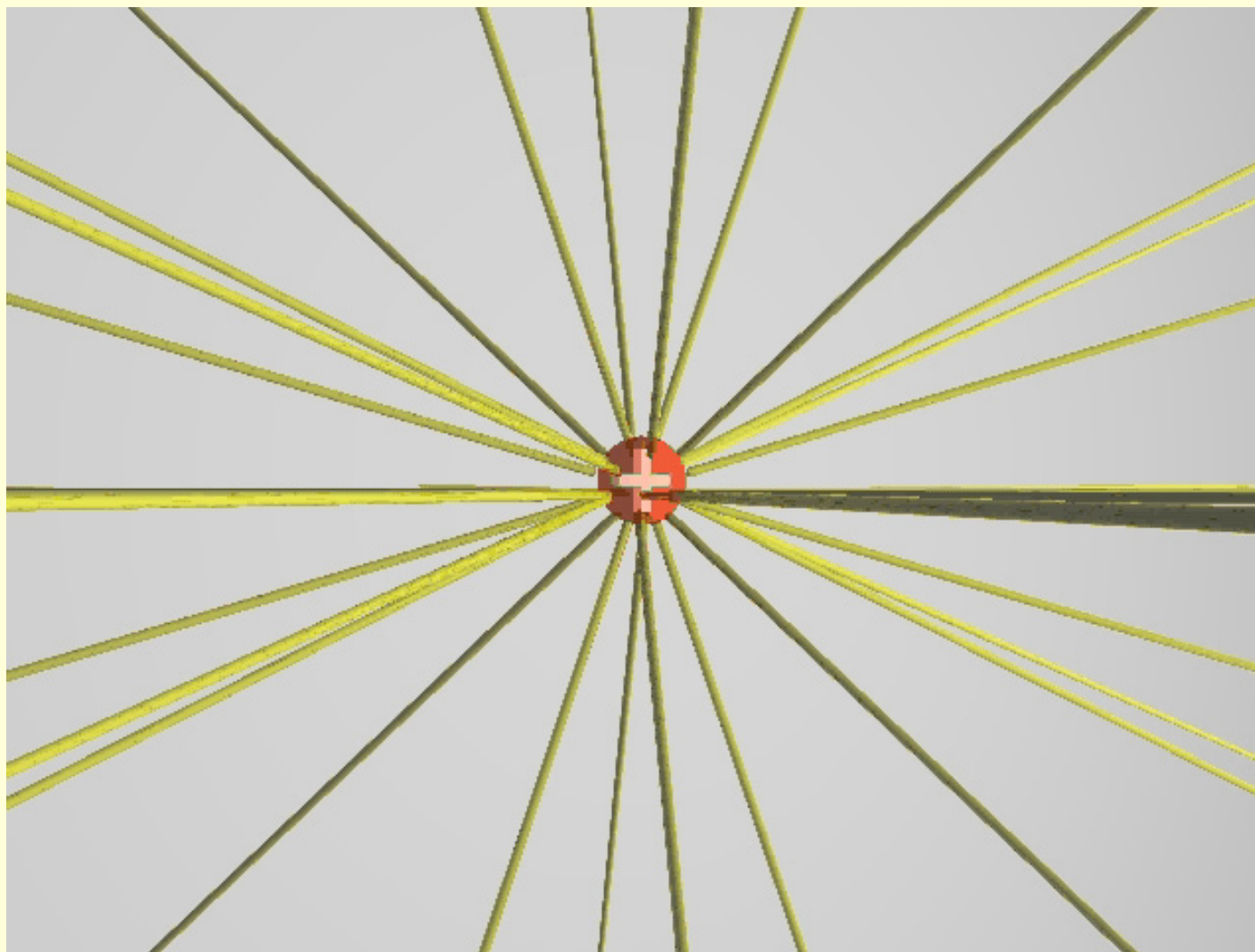
各点での電気力線の接線は、各点での電界の向きを示す。



各点での電気力線の接線は、各点に正の電荷を置いたときに働く力の向きを示し、負の電荷のときは向きは逆になる。

電気力線の密度は、電界の強さに比例し、電気力線の間隔が広いと、電界の強さは小さくなる。

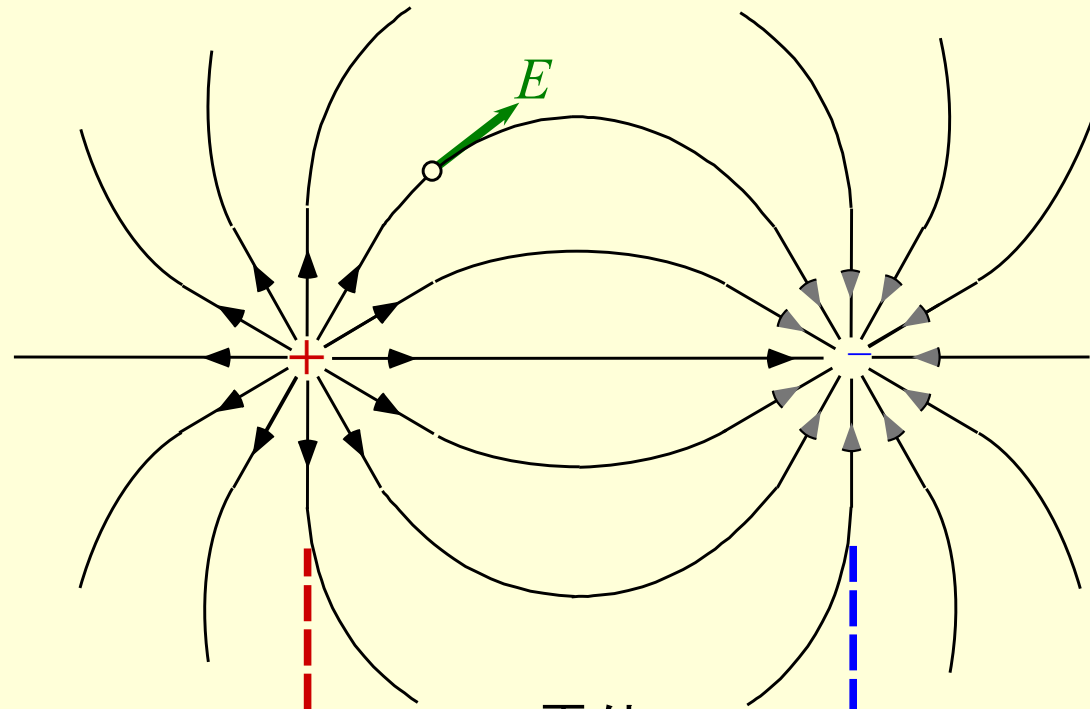
閉曲面の電気力線



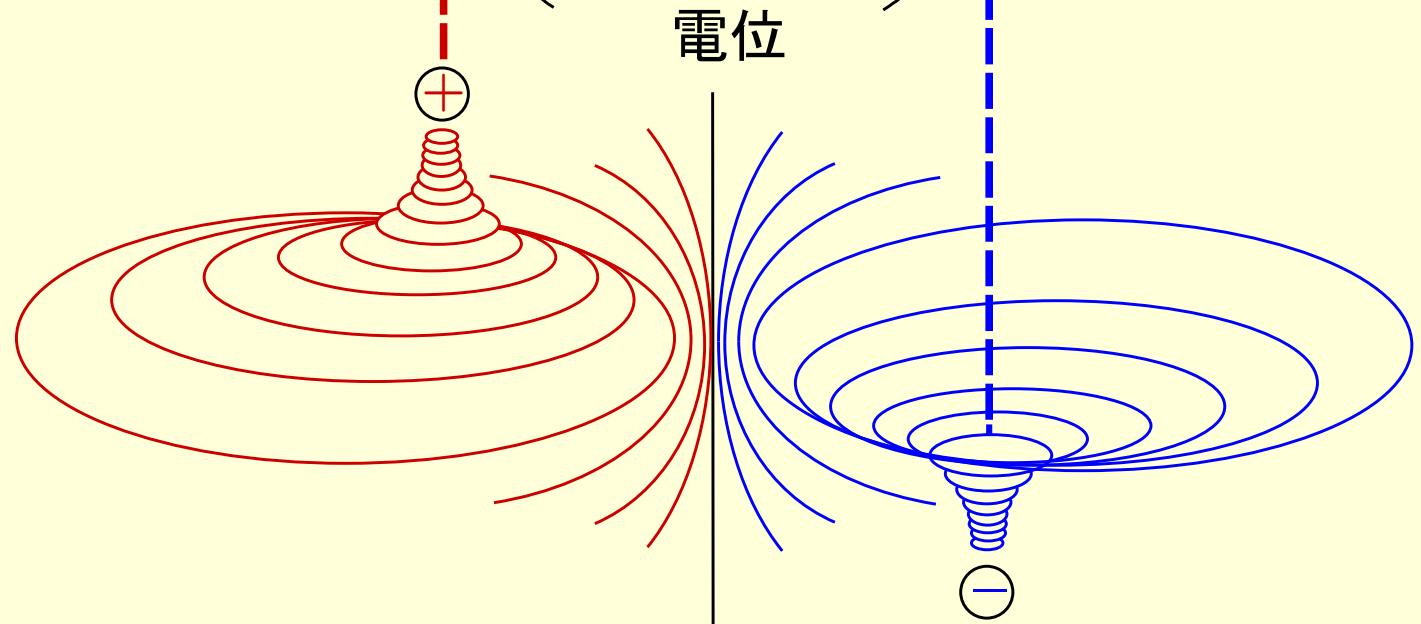
電荷から生じる電気力線の数はまわりにある面の形状で変わることはない。

正負電荷対

+と-の点電荷が作る電気力線



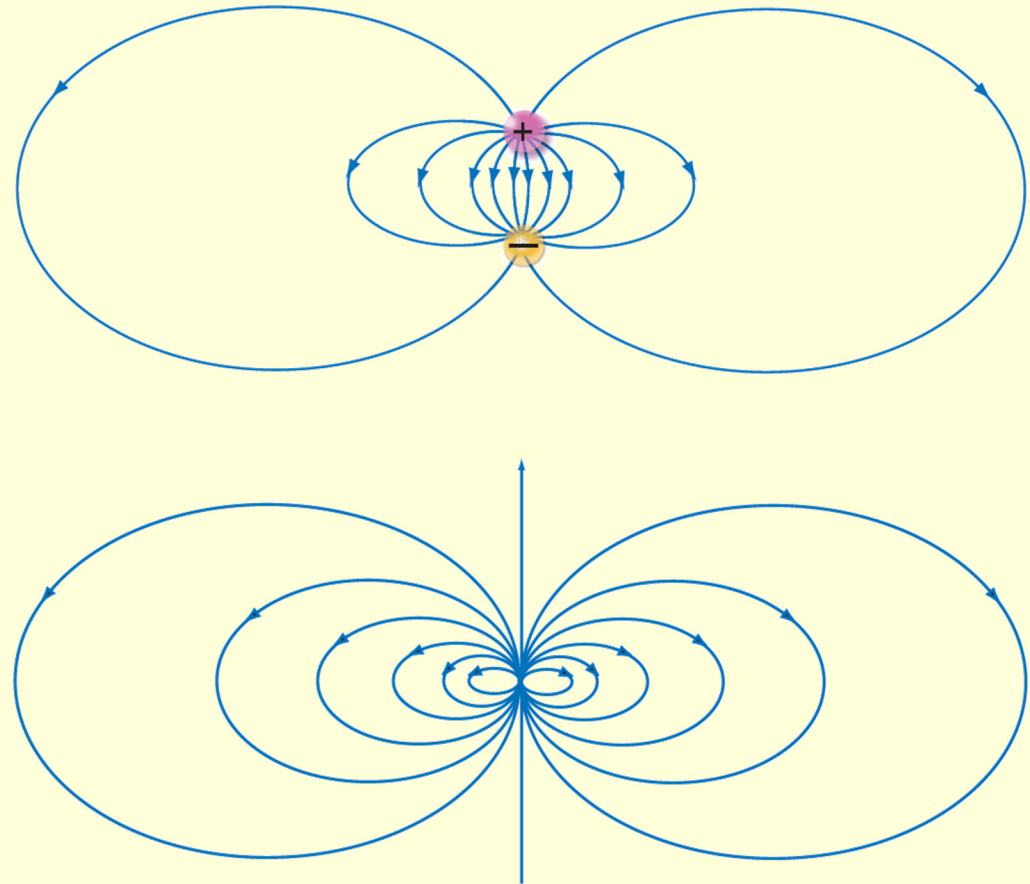
電界が作る電位のモデル図(電界は電位に比例)



分極した分子の電場

水分子のように、外から電氣的な力を加えなくても分極した分子がある。

一番単純な例として2つの点電荷 $+q$ 、 $-q$ が距離 d だけ離れておかれているものを考えてみる。このようなものを**電気双極子**という。電気双極子の作る電気力線は、十分遠くから見ると2つの電荷からの距離の差が見えなくなり、その強さは $P = qd$ という量にしかよらなくなる。この P を**電気双極子モーメント**という。



一様な電場中の荷電粒子の運動

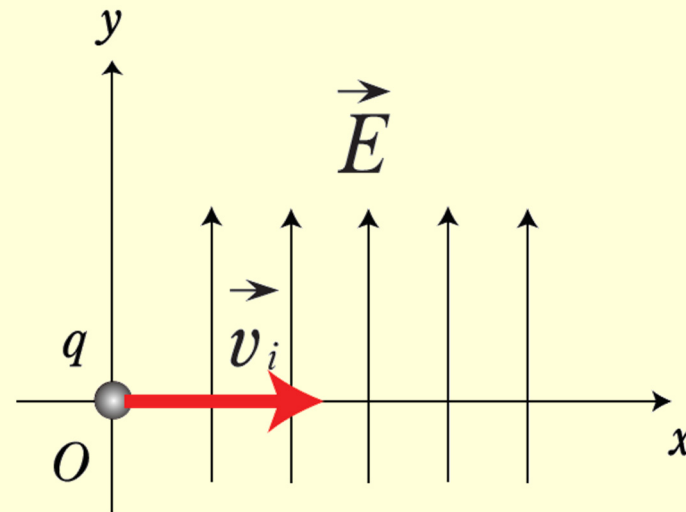
質量 m で電荷 q の荷電粒子は一様な電界 \vec{E} のもとで、

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

の一定の力を受ける。したがって、ニュートンの法則より、一様な電界中の荷電粒子は、一定の加速度を受ける等加速度運動をする。

y 方向の一様な電界に垂直な x 方向に荷電粒子が入ってきた場合、電荷 q の粒子は y 方向に $F = qE$ の力を受け、等加速度運動を、 x 方向には力を受けないので等速度運動を行う。電界に進入するときの時刻を $t = 0$ 、初速度を $\vec{v} = (v_i, 0)$ とすると、 x 方向速度は、 $v_x(t) = v_i$ となり、 y 方向速度は、

$$m \frac{dv_y}{dt} = qE$$



より、

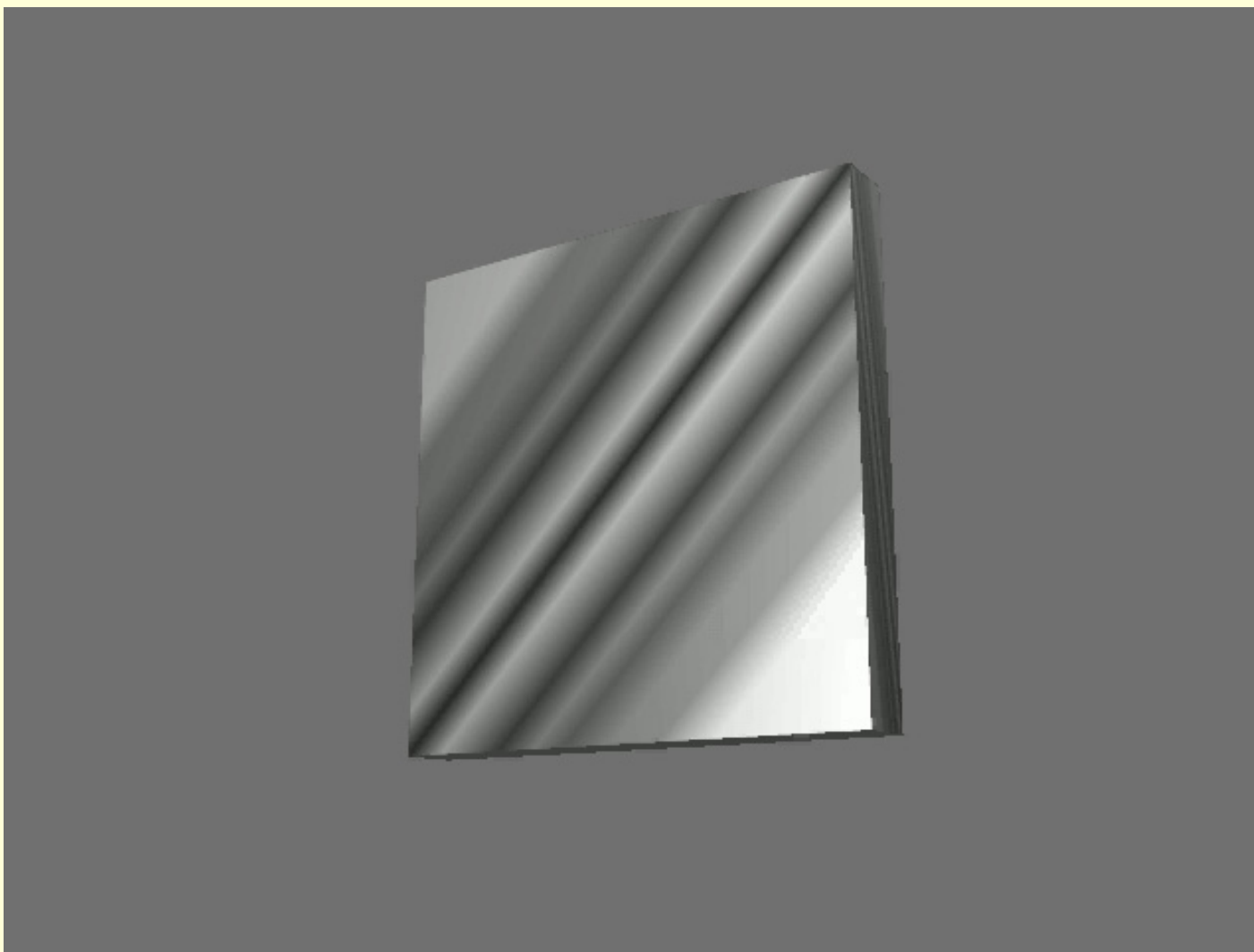
$$v_y = \frac{qE}{m}t$$

となる。 $t = 0$ の時に原点にいたとすると、

$$x(t) = v_i t$$

$$y(t) = \frac{qE}{2m}t^2$$

平板の電気力線



平板の電気力線は面から垂直に出る。

レーザープリンタ

