

講義の前に・・・

- この講義は出席重視。5回休めば確実に単位がつきません。なお、全ての人に対して休み1回はノーカウントにします。
- 毎回レポートを出してもらいます。その日の要点をまとめて記録して下さい。
- 電車の遅延は考慮しません。(ただし、乗っている電車が30分止まった、などの極端な例は考慮します。)

今日の課題(1)

1.電圧とは何か？

2.電流とは何か？

3.抵抗とは何か？

それぞれ自分の理解を文章にまとめながら、講義を聞いて下さい。講義の最後に提出してもらいます。

1.電圧・電流・抵抗

A.電気の基礎

電圧 (voltage, electric potential) v

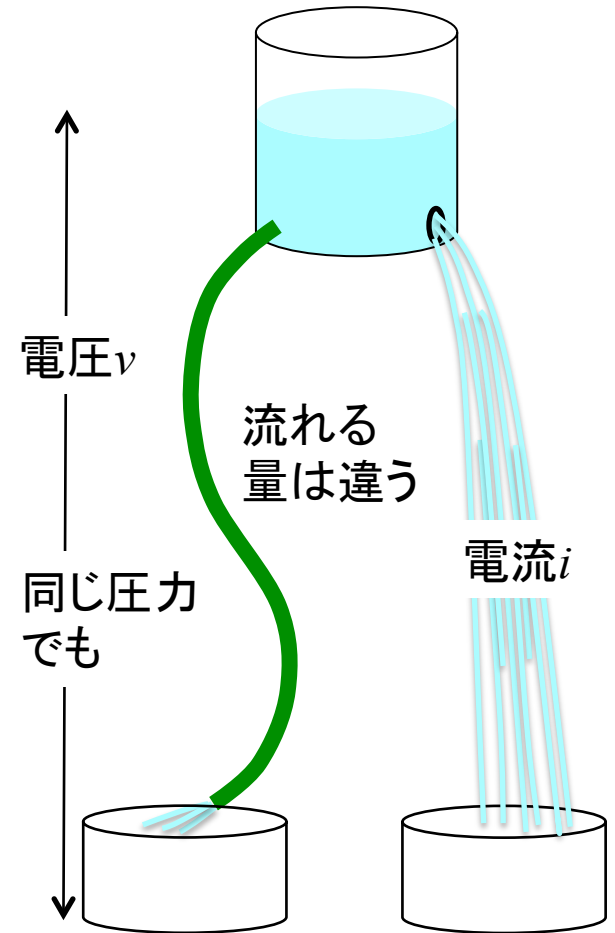
電圧は**電気的な位置エネルギー**の大きさを表す量で、電位とも呼ばれる。位置エネルギーの大きさが、電流を流そうとする作用の強さになるので、水を流そうとする圧力と似ている。この講義では、一般に電气的ポテンシャルを電位 ϕ と呼び、二点間の電位差を電圧 v と呼ぶことにしよう。

電流 (electric current) i

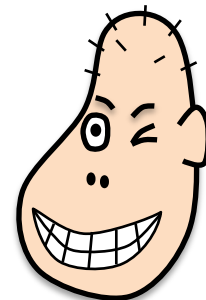
電荷の移動を電気の流れと考え、単位時間に、ある断面を横切る電荷量を電流 i と呼ぶ。しかし、電流の本質は電荷に伴って移動する電束 D にある。正確には、**単位時間当たりの電束の変化量**が電流なのである。

抵抗 (electric resistance) r

電流と電圧は、本来独立した量だ。ペットボトルの水をいくら高く持ち上げても、口から流れ出す水の流量は変わらない。また同じ高さでも、水路が細ければ少ししか水は流れない。同じ電圧でも、流れを止めようとする性質によって、電流の大きさは変わる。**この流れを止めようとする性質**を抵抗 r と呼ぶ。



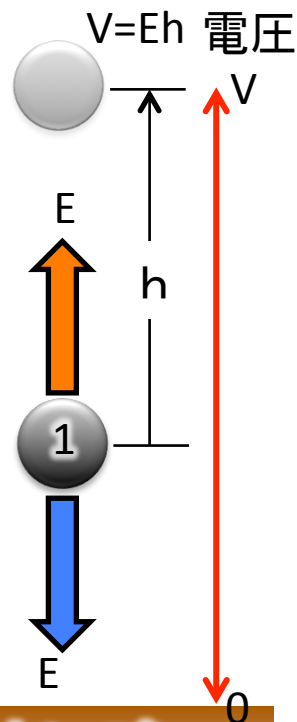
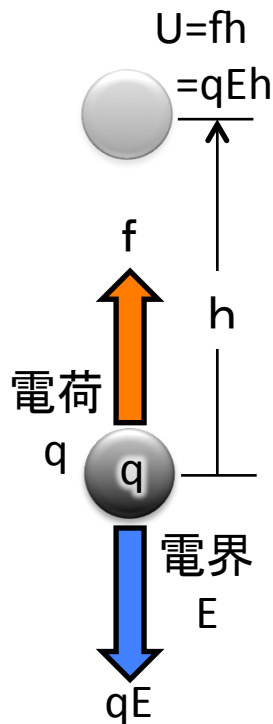
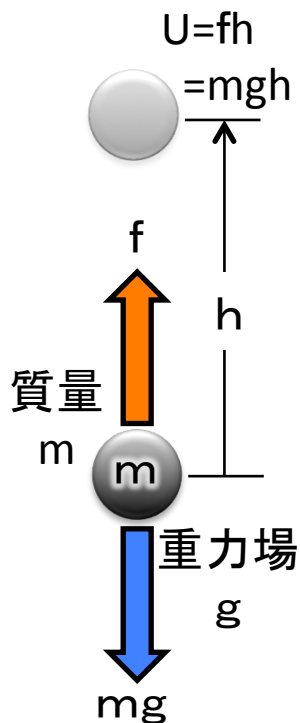
さあ、電圧とはなにか分かったかね？



力学では・・・

電気では・・・

1Cの電荷
では



1C(クーロン)の電荷が持つ位置エネルギーを電位Vと定義した。
電位Vに電荷量qをかければ、エネルギーUになる。

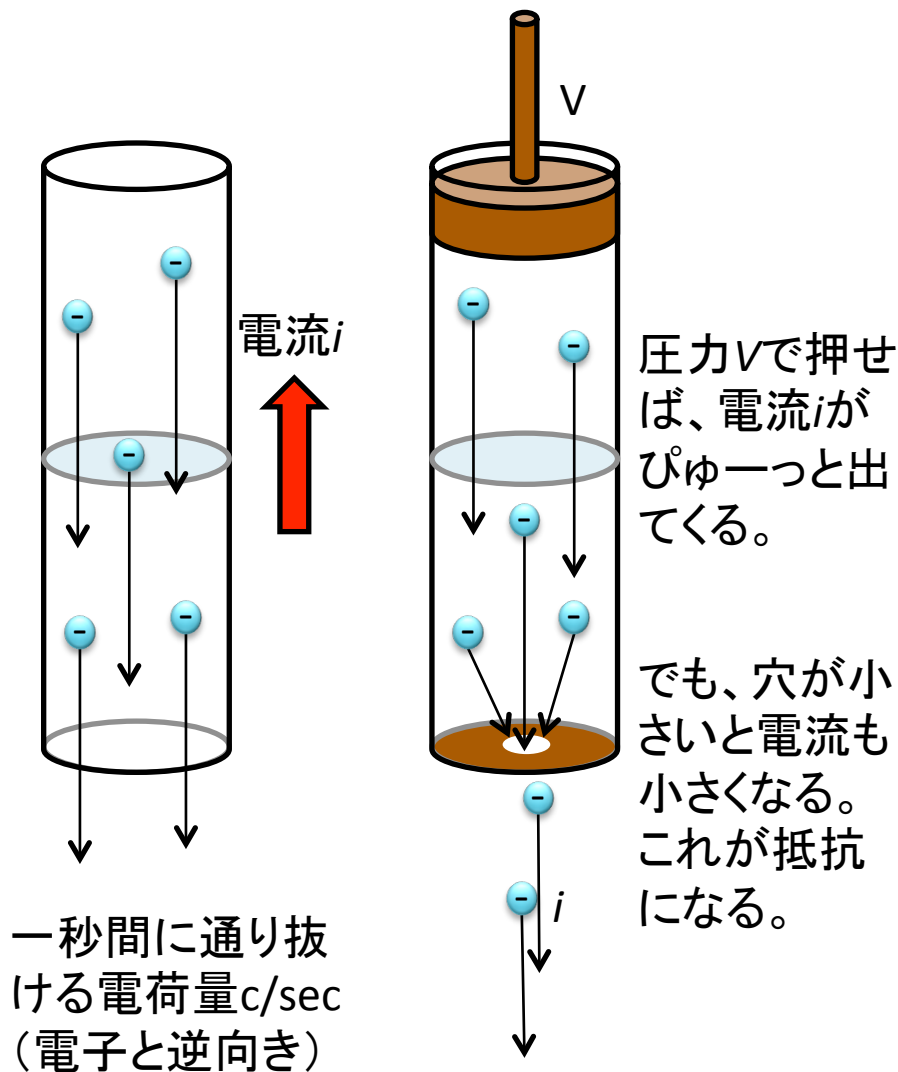
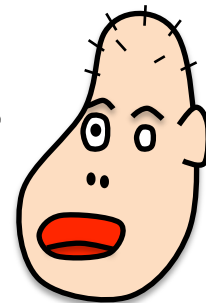
電位は、本当は電荷当たりのエネルギーなので、単位はJ/cになる。
エネルギーとは別の量なのだ。

電位は位置エネルギーだが、基準点がないと作用の大きさが決まらない。そこで、地面を電位0の基準とした電位の大きさを電圧Vと呼び、電氣的な作用の大きさを示す量として使っている。

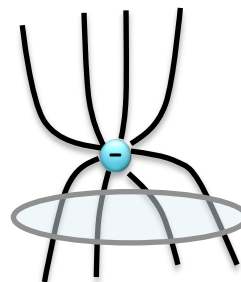
mgの力fで高さh持ち上げると、mghのエネルギーUが貯まる。

電界Eは電荷qに力f=qEを加える。fに逆らって高さh持ち上げると、qEhのエネルギーUが貯まる。

じゃあ、電流は何か分かったかいな？



でも、電子って意外と遅くて、秒速10-100mぐ
らい。電流って、そんな
にゆっくりしてたっけ？

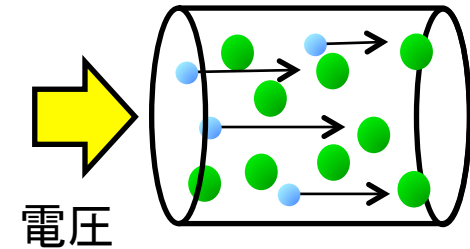


本当は、電荷の回り
の電気力線(電束 D)
が通り抜ける=変化
するのが電流。
磁束だってそれで電
流を発生させるでしょ。

実は電束密度の
時間変化 dD/dt が
電流なのだった。

最後に電気抵抗

なぜ、同じ圧力でも流れる水の量は違うのか？
それは流れに対する抵抗が違うから。
電気でも・・・



電圧 v 、電流 i とする。
電圧に対して、抵抗が大きいほど電流は小さくなる。

$$i = v/r$$

この関係から、抵抗 r (resistance)の定義は

$$r \equiv v/i$$

で与えられる。

抵抗 r は電流の通りにくさを表す量だ。

電荷の流れは、
何かにぶつかっ
て抵抗を受ける。

電流の単位 電流 A は時間 s (秒)当たりの電荷量 C (クーロン)である。よって、

$$A = C/s$$

電圧の単位 v (ボルト)は電荷 C (クーロン)を掛けるとエネルギーになる。よって、

$$V = J/C = J/As$$

電氣的な力は長さ当たりの電位差=電界 E で表される。 E : [V/m]

電界 E に電荷 q を掛けると力 f になる。 $E = V/L = f/q$: [N/c]

エネルギーの散逸

導体の中を流れる電荷を持った粒子は電子で、抵抗をうけると言うことは、摩擦力(と同じ作用)が働いていることになる。

力を加えたときに、バネが押し返すのと、摩擦が押し返すのでは違いがある。

バネの場合は、押した分の力で押し返されるので、エネルギーも丸ごと返ってくる。

摩擦の場合は、押した分の力は返ってこないなので、エネルギーも失われる。

本来エネルギーは保存されるので、エネルギーは失われるのではなく、熱に変わって外部に放出される。このようにエネルギーが拡散されて返ってこない現象を“**散逸**” **Dissipation**と呼んでいる。

電圧はエネルギーを電荷で割った量[J/c]、電流は電荷を時間で割った量[c/S]。電圧と電流の積は、[J/S]になる。つまり、時間あたりのエネルギー消費である。これを仕事率ワットW:[J/S]と呼ぶ。

単位時間に、抵抗Rで消費され熱に変わるエネルギーは $W=V \cdot I$ で求められる。

抵抗素子



炭素抵抗



金属皮膜抵抗



巻き線抵抗



可変抵抗

トリマー抵抗



ボリューム



ポテンシオメーター



スライド抵抗

力の場

物理の重要な理論に、電磁気学、量子力学、相対性理論がある。これらの理論は、いずれも「場」の概念に基づいて構築されている。場とは元々は何もないと考えられていた真空の空間に、さまざまな性質を与えた概念だ。今では、真空には重力ポテンシャルの場、電位の場、その他さまざまな場が与えられ、物質の生成・消滅も場の変化としてとらえられる。つまり真空の場を理解することは、宇宙の物理法則を理解すること、そのものと考えられるのである。

このように重要な場の概念の一つ、電気力を発生させる電場(電界)について、少しだけ紹介しておこう。

電界と電位

電氣的な力を議論する際に、電界 E と電位 ϕ を使って議論する
場合がある。電界は電荷 q を掛けると電気力 f になり、電位は電
荷 q を掛けると位置エネルギー U になる。

$$\mathbf{f} = q\mathbf{E} \qquad U = q\phi$$

E はベクトルで、 ϕ はスカラーである。もともと、位置エネルギー
の定義は力の距離積分(力に距離を内積して足していったも
の)なので、

$$U = \int \mathbf{f} \cdot d\mathbf{x}$$

の関係がある。この両辺を q で割れば電位の定義が与えられる。

$$\phi = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$$

つまり、電位とは電界の作用が距離につれて蓄えられていって
た、エネルギーのようなもの(ポテンシャル)と、考えることがで
きる。

積分の逆は？

電位と電界の関係式

$$\phi = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$$

は積分形式で、実際に計算する際には積分定数を考慮する必要があり、不便である。そこで、式の両辺を微分して微分形式に直してみる。このとき、積分は3次元ベクトル \mathbf{r} の微少量に対して行われていることに注意する。つまり、詳しく書くとこの積分は3方向の微少量 dx, dy, dz について、 \mathbf{E} のそれぞれの成分が積分されているのだ。

$$\phi = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = \int E_x dx + E_y dy + E_z dz$$

だとすると、微分も3方向で行う必要がある。つまり、

$$\frac{d}{dx} \phi, \frac{d}{dy} \phi, \frac{d}{dz} \phi = E_x, E_y, E_z$$

ということになる。

なぜ電流は電束密度の変化か？

電流の定義として、単位時間あたりに移動した電荷量というのはまだ分かる。しかし、電束の時間変化、と言う定義は何を意味するのだろうか？

マクスウェルの法則の1つ、

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{d\mathbf{D}}{dt}$$

によると、電流密度 \mathbf{J} は電束密度 \mathbf{D} の時間変化と同じ役割をすることになっている。これについては、今日の講義を聴いてから考えることにしよう。