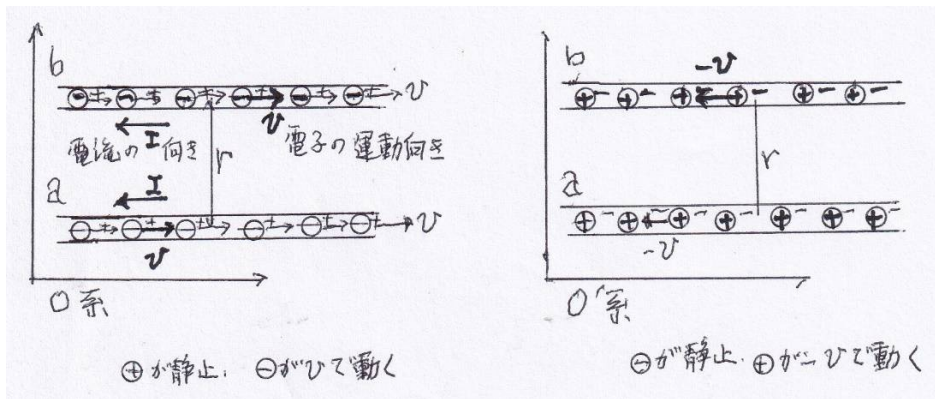


(参考) 電場 E と磁場(磁束場)B とは互いに相対的な場

見る人によって変わる。 平行電流間に働く力の矛盾? どう解く??

ある時は磁場!?ある時は電場!? それでも物理は変わらない!!

平行電流間に働く力は、静止系(O系)で見ると磁束場による力のみが現れる。ところが運動系(O'系)で見ると、磁束場だけでなく電場も発生してくるので力がどうなるかの問題です。これは「電気と磁気との電磁気のパラドックス」としていつも生徒に考えさせました。



① 静止系(O系)で見た物理現象

電流 a による磁場から電流 b が力を受けると考えます。(共に電子が+x 向きに流れている I とします。) 電流 a の状態にある電荷(⊕が止まっていて⊖が v で流れている)は等密度と考えて良いから a は電場を作りません。a の(⊖電荷の流れる)電流が b の位置

に作る磁束場 B(アンペール則 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$)によって電流 b がローレンツ力を受けます。

$$F = I \times B \cdot \ell = \rho \cdot v \rho \times B \quad \text{ただし } \ell \text{ は基本単位長さ } 1[\text{m}], \rho \text{ は電荷密度}$$

$$F = -\frac{\mu_0 I^2}{2\pi r} \quad \text{引力} \dots (1) \quad \text{この時は } \rho \cdot v = I \cdot 1 \quad \text{また } \rho = \rho_+ = \rho_- \text{ です。}$$

ρ_- は動いている⊖電荷の密度であることに注意!

② 運動系(O'系)から見た同一の物理現象。

電子⊖と一緒に動く系だから⊖が静止し、⊕が-vで動くように見える。

① a の作る電荷密度の変化によって生ずる E'により b の電荷が受けるクーロン力は

$$F' = -\rho'_- E' + \rho'_+ E' \quad \dots (2)$$

(引力) (斥力)

ρ'_-, ρ'_+ は O'系から見た b の ⊖, ⊕電荷密度

ローレンツ短縮によって O'系から見ると O'系に対して静止している電子⊖の電荷密度は減り、O'系に対して運動している⊕電荷の電荷密度は増大します。

$$\rho'_- = \rho_- \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \rho'_+ = \frac{\rho_+}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

(註) 基長 L は運動系の基長 L' にローレンツ短縮して $L' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} L$ となるので、この場合、

⊕電荷は O 系静止 O'系運動で、電荷保存関係より $\rho_+ L = \rho'_+ L'$ 、⊖電荷は逆に O'系静止、

O 系運動なので $\rho'_- L = \rho_- L'$ を満たすから、 $\rho'_+ = \frac{\rho_+}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ 、 $\rho'_- = \rho_- \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

B に影響を与える実質の電荷密度 $\rho'_{合計}$ は $\rho'_{合計} = \rho'_+ - \rho'_-$ 、 $\rho = \rho_+ = \rho_-$ 考えて

$$\rho'_{合計} = \rho'_+ - \rho'_- = \frac{\rho_+}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \rho_- \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{\rho}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) \right\} = \rho \frac{\frac{v^2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

そこで、 $E' = \frac{\rho'_{合計}}{2\pi\epsilon_0 r'} = \frac{\rho \frac{v^2}{c^2}}{2\pi\epsilon_0 r' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ ($\epsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2}$ 、 $r' = r$ なので)

$$E' = \frac{\epsilon_0 \rho v^2}{2\pi\epsilon_0 r \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots\dots (3) \quad \text{と書けることになる。}$$

よって (2)式は

$$F' = - \frac{\epsilon_0 \rho v^2}{2\pi\epsilon_0 r \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \rho_- \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \frac{\epsilon_0 \rho v^2}{2\pi\epsilon_0 r \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{\rho}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \rho \cdot v = I \quad \text{を使えば、}$$

$$F' = - \frac{\mu_0 I^2}{2\pi r} + \frac{\epsilon_0 I^2}{2\pi r (1 - \frac{v^2}{c^2})} \dots\dots (4) \quad \text{となります。}$$

② a の作る ⊕電流の磁場による b の ⊕電流の受ける力ローレンツ F'' はアンペール則より

$$B' = \frac{\mu_0 I'}{2\pi r} = \frac{\mu_0 \rho'_+ v}{2\pi r \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{だから}$$

$$F'' = I' \times B' \cdot l' = \rho'_+ v \times B' = - \frac{\rho_+ v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{\epsilon_0 \rho v^2}{2\pi\epsilon_0 r \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = - \frac{\epsilon_0 I^2}{2\pi r (1 - \frac{v^2}{c^2})} \dots\dots (5) \quad \text{となります。}$$

③ よって、b の ⊕と ⊖両電荷の受ける力の合計は、(4)式の第 2 項が打ち消されて

$$F'_{合計} = F' + F'' = - \frac{\mu_0 I^2}{2\pi r} \quad \text{となって (1)と一致するのです。}$$

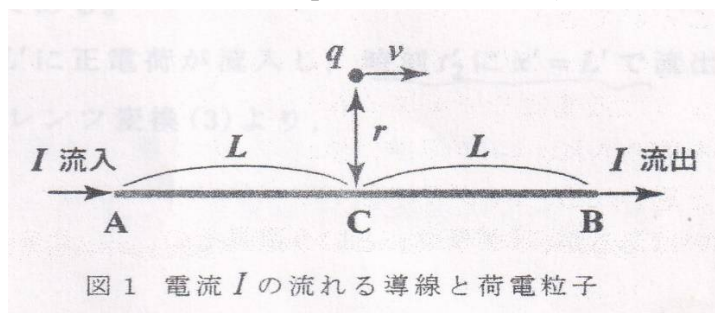
(註) ここで、F と $F'_{合計}$ 本当は正確には一致しない。 $F'_{合計} = \frac{F}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ であるが

電荷(電子)の移動速度 v は $v \ll c$ と光速に比べて小さいので $F'_{合計} = F$ になる。

要するに、O 系では働く力は a の作る磁束場による b の電流が受けるローレンツ引力のみであった。O'系で見るとローレンツ短縮の効果で b' に電荷密度が現れて、このクーロン力の効果の引力部分が一致するのです。(b に新たに出現する ⊕電流の磁束場からのローレンツ引力の寄与がちょうど余分の ⊕電荷の斥力部分を打ち消し、引力のみが残るのです。)

本質=時間の遅れ(同時性の破れ)による電荷密度の発生

先には、2電流間に働く力の見え方についてローレンツ短縮によって電荷密度が変化するというファインマン流の考え方で見てみましたが、もっと簡単に相対論的「同時性」を考えて、「運動系で見ると電場が発生する」ということを導くこともできます。



① 運動する荷電粒子が電流から受ける力

導線 AB に電流 I が流れている時、そこから距離 r の位置に電荷 $+q$ が電流と同じ向きに速度 v で運動しているものとする。透磁率を μ_0 とすれば、 r に電流 I の作る磁束場 B は

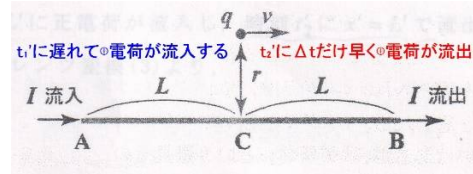
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{アンペール則}) \quad \text{だから、} q \text{ の受けるローレンツ力は下向きに}$$

$$F = q v B = -\frac{\mu_0 q v I}{2\pi r} \quad \dots\dots (1)$$

単純化のために電流を \oplus 電荷の流れとする。このとき、導線中には \oplus 電荷と同量の \ominus 電荷が一様に分布しており、そこを \oplus 電荷が移動して行くと考えているのは前と同じで、導線は静止系では電氣的に中性であるので q に導線の電荷からのクーロン力は働かない。

図1で A、B はそれぞれ電流が流入、流出する点である。A、B を点 C に対して等距離 L の点とする。 \oplus 電荷が導線の点 A に流入した瞬間、それと同量の \oplus 電荷が点 B から流出する。流入と流出とは同時に生ずるので、導線 AB に含まれる \oplus 電荷は常に一定であり、一様に分布している \ominus 電荷と完全に打ち消しあっている。従って同線は電場を作らないから、荷電粒子は電流の作る磁束場 B によるローレンツ力(1)のみを受けると考えてよい。

② 荷電粒子 q とともに運動する座標系からの見え方



導線を中心 C を原点として座標系 O を定義すると、時刻 $t_1=t_2$ に A, B 両地点に流入、流出した \oplus 電荷は、運動する O' 系から見ると t'_1 に A に流入し、 t'_2 に B から流出するよう

に見える。時刻のローレンツ変換(前出:既習)を使うと、 $t' = t \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - x \frac{\frac{v}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ なので

$$(t'_1 - t'_2) = \left\{ t_1 \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - x_1 \frac{\frac{v}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \right\} - \left\{ t_2 \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - x_2 \frac{\frac{v}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \right\} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} (t_1 - t_2) + \frac{\frac{v}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} (x_2 - x_1)$$

ここで、 $t_1=t_2$ であるので第1項は0となり、 $x_2=+L$ 、 $x_1=-L$ であるから

$$\Delta t' = (t'_1 - t'_2) = \frac{2L \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} > 0 \text{ となって、} t'_1 > t'_2 \text{ } t'_2 \text{ で } B \text{ の方が先に } \oplus \text{ 電荷が流出し、}$$

t'_1 で A から \oplus 電荷が $\Delta t'$ だけ遅れて流入することになる。この間は \oplus 電荷が欠乏するので、

\ominus 電荷リッチとなる。つまり、導線全体は $-$ 帯電するわけだ。その帯電量 Q' は

$$Q' = -I' \Delta t' = -I' \cdot \frac{2L \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad O' \text{ 系から見た電流を } I' \text{ とすれば、} O' \text{ 系から見た } \Delta t'$$

は間延びして電流値は小さくなり $I' = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} I$ だから、 $Q' = -I' \Delta t' = -\frac{2LvI}{c^2}$ である。

O' 系から見た導線の \ominus 電荷密度は $\rho' = \frac{Q'}{2L'}$ である。ここで $L' = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} L$ であるが

$v \ll c$ の伝導電荷の場合は $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cong 1$ と置いてよいから、 $\rho' = -\frac{vI}{c^2}$ となる。この電荷

の導線が $r'=r$ の位置に作る電場 E' は、 $E' = -\frac{\rho'}{2\pi r \epsilon_0} = -\frac{vI}{2\pi r \epsilon_0 c^2}$ となり、 $C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ なので

q の受ける力は $F' = qE' = -\frac{\mu_0 q v I}{2\pi r}$ ……(2) となって(1)と一致する。

(本当は力 F' はローレンツ変換で $F' = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} F$ なのだが $v \ll c$ なので $F' = F$ としてよい。)

③ 相対論的効果がこんな日常電磁現象に現れるとは…!!

荷電粒子 $+q$ とともに速度 v で運動する O' 系から眺めても、 $+q$ には O 系で求めた(1)と同じ力(2)が働くが、これは(1)の時とは違ってローレンツ力によるものではなくて、視点の変更によって導線への \oplus 電荷の流出、流入の「時間差」が起こったために、導線に電荷の出現したことによって生じた電場の及ぼすクーロン力なのである。荷電粒子は静止系では「磁束場(磁場)」を感じ、運動系では「電場」を感じるのである。

電磁場の相対性の面白い性質がわかるだろう。

注目すべき点は、荷電粒子の速度 v が日常的な範囲であっても、ここに相対論的効果が現れているということです。物質中の \oplus 、 \ominus の電荷は信じられないほどの精度で完全に打ち消しあっているが、相対論的な微小時間差が $Q' = -\frac{2LvI}{c^2}$ という僅かな電荷の過不足を生み、それが大きく効いてくるのである。例えばこの式に $v=1[\text{m/s}]$ 、 $I=1[\text{A}]$ 、 $L=0.5[\text{m}]$ 、 $C=3 \times 10^8[\text{m/s}]$ として、 $Q' \cong 10^{-17}[\text{coul}]$ (クーロン)でしかないのです。これはわずか電子100個ほどの非常にわずかな電荷です。こんな相対論的補正によってマクロな世界が影響を受けるということは驚きですね。

◎要するに、静止系 O 系では、下向きローレンツ力のみが働くが、運動系 O' 系では「同時刻」がずれて($\Delta t'$ が発生するので)電荷の流入より流出がほんの少し多くなり、 \ominus 電荷リッチとなってクーロン引力が発生するということです。

引用 R.P.ファインマン「Feynman 物理学III 電磁気学」

C.Ladler や E.Huggins 「Magnetism and Simultaneity」などの論考。

電磁気学習で何を学ぶか 何を学ばせたいか

朝生 邦夫 (千葉・県立千葉南高校／千葉物理サークル)

Q) 電磁気学の本質を一言でいうと？

ニュートン力学が「物の物理」であるとなれば、マックスウェル電磁気学は真空（空間）が、人間の意識とは独立に存在する客観的実在であることを認め、その性質を研究し応用する「真空の物理学」と言うことができます。見るも触れるもできない「物のない真空」が、ある性質をもって実在するなんて、生徒にとって初めての体験です。「ないというものがある！」と言ったらよいでしょうか？

A) 真空の物理学であるということ

そして、その結果が電磁波という現象となって人類の日々の生活に生かされている（TVやラジオ、ケータイに至るまで）のです。真空中を伝わる波の速さが観測者によらず一定値（光速）であること、観測者によって電場と磁場が入れ替わって見えることこそが、アインシュタインの相対性理論につながる糸

口となっているのです。

Q) 電磁気学の体系を図示すると？

A) EとBの場の実在と相互発生関係とを中心とした図（図1）

① 「目に見えない」とは言っても、電流や電荷については、比較的経験しやすく知識も蓄積されているので、さらに身近に感じ取ってもらうように、生徒に十分な経験をさせたいと思います。MKSA単位系でAは電流の強さIであること、流れの実体・電荷Qが $Q = \int Idt$ （定電流なら $=It$ ）であること、導線中の流れの実体が自由電子であることに触れてもよいが、それだけを強調すればよいとか、あまりそこだけにとらわれないようにしたいものです。（+の荷電粒子やイオンもあるわけですから…）

② $I \rightleftharpoons Q$ の相互発生関係については、コンデンサーや電流計を使って、できれば定電流装置を使って、生徒に量関係がしっかりなじむまで実験させたいものです。

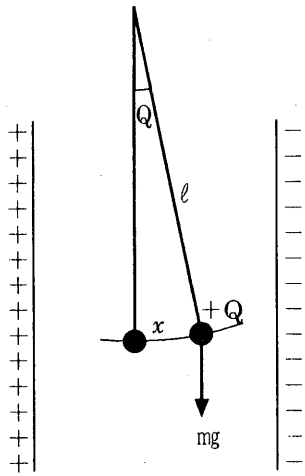


図2 電場の大きさ測定の間

釣糸で吊り下げて、帯電させた平行板コンデンサー中に入れ、その傾きから帯電球に働く力を力学的に計って電場の大きさを知ります。

$$\vec{E} = \vec{F}/Q \quad F = mgx/l$$

Qは 10^{-9} coul位。

数千 ([N/Coul]=[V/m]) の電場の大きさを体感させたいものです。電場の実在がわかれば、QとEとの相互作用 $\vec{F} = Q\vec{E}$ は当然の結果として受け入れられます。

⑤ 他の電荷 Q' の周りにも E のできること (クーロンの法則)

これもぜひやらせてみたい実験です。

$$Q'/4\pi R^2 = \epsilon E \quad \text{の形にして}$$

場の考え方を取り入れたいものです。原因量が0次元(点)なら、周囲は R^2 に反比例して影響が及ぶこと。 $F = QQ'/R^2$ という遠隔力の表現でなく、上式の哲学を重視したいです。また、平行板コンデンサーなどで電気力線(電束)を扱ってもよいが、これで説明するという説明主義はやめて、便宜的なもの

多少不正確でも、帯電球(発泡スチロール球に墨を塗ったもの=約10mg程度の質量)を細い No.02($\phi = 0.074\text{mm}$)

としてとどめたい。ここは、モデルにとらわれすぎると力線の御都合主義による性格づけや自己場との相互作用など誤りに導きやすいので注意が必要です。

⑥ 電流(動いている電荷)にのみ力を及ぼす空間=磁束場 B の存在すること。

B の定義は $B = F/I \cdot l$ (電流には長さがあるので...) F, B, I の向きは左手の関係 (発見) 単位は [N/Am] = [Tesla]

したがって、 \vec{I}, \vec{B} との相互作用は、 $\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B} \cdot l$ (フレミング左手則)

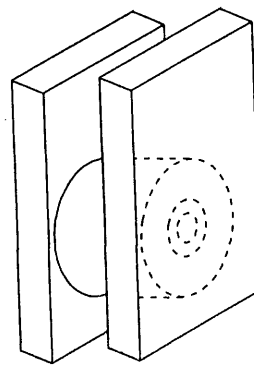
ベクトル積を教えてもよい。

⑦ または

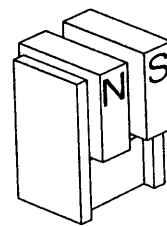
$$\vec{F} = Q \cdot \vec{v}_q \times \vec{B} \quad (\text{狭義のローレンツ力})$$

この現象は、0.10~0.20 [Tesla] の強力磁石(ネオジムよりフェライトの方がよい)の間に単線電流1A程度を流して、力の大きさと向きをきちんと生徒に体験させる大切な実

(タイプI)



(タイプII)



市販の強力磁石に板状スリットをつけたもの

ドーナツ磁石を鉄板で挟んだもの (ステンレスのビスでとめる)

図3 平行板磁石の間

験です。大型ドーナツ型のフェライト磁石を軟鉄板2枚で挟むとよい磁束場ができます。

ここでも力学の応用で、弱いばね（リン青銅線で焼入れして自作する）を使い、フックの法則から力を測定します。この時受ける力Fの向きとIの向きと関連つけて場Bの向き

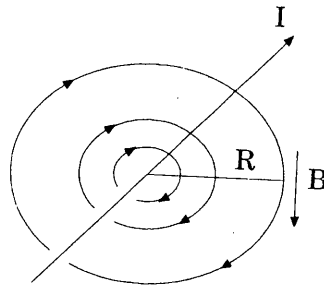


図5 電流回りの磁界の図

が、1820年のエルステッドの発見は、電流まわりに（電流の後ろから見て）右回り同心円状にBができることの偶然的発見でした。これを式に書いて表すと、

$B = \mu I / 2\pi R$ のようになります。（原因量が1次元だと影響はR¹に反比例）これも、大電流の直流（2000A程度）で生徒に実験させたいものです。スライダックと整流用のダイオード、コイルは1辺2mの方形67巻で30A×67T=2010ATが実現できます。

「パスカル電線」でも可。

この事実を整理するには、いくつかの方法があって、上記のエルステッドのびっくりしたことのストレートな表現の他に、

$$(B/\mu) 2\pi R = I \quad \text{つまり}$$

$$\oint H ds = I \quad (B/\mu = H \text{ として})$$

というアンペールの法則表現にもなるし、「電流は電荷の流れで、その電荷はおのおの電場を担っているという既習の関連を思い出せば、『電場Eが動けば磁束場Bを生ずる』という表現にもまとめられる」

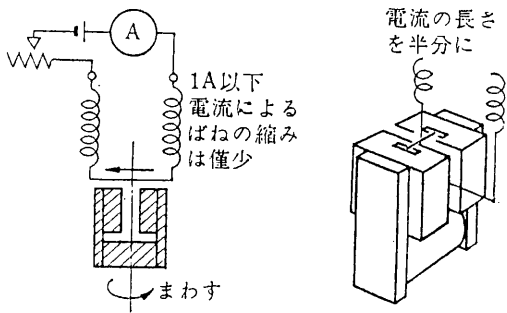


図4 磁束場の大きさ測定図

を確認します。Bの向きがFにもIにも垂直であること（左手の関係：ベクトル積）は新しい発見となります。

⑧ $\vec{F} = Q \cdot \vec{v}_Q \times \vec{B}$ （ローレンツ力）の表式は直ちに $\vec{F}/Q = \vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$ となり、Bの中でQを動かせば、それと直角にQが力を受ける場（即ち電場E）ができることと同義（=電磁誘導）です。BとQとの相対運動から

$$\vec{v}_Q = -\vec{v}_B \text{ ですから, } \vec{E} = -\vec{v}_B \times \vec{B}$$

（Bがそれ自身に垂直に動けばEができる）ことがわかります。これは⑦の実験の後に、電池を外してそこにμV計をつけて、発生する電圧を測定します。（発電の原理）
（これは相対性原理のみならず適用可！）

⑨ 別の論文にも載るだろうと思われま

Eがうごけば、Bができる

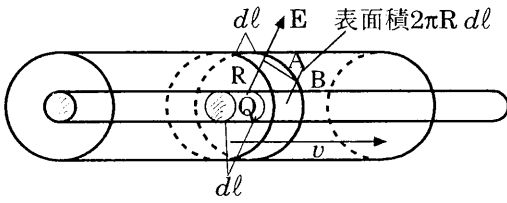


図6 エルステッドから本質の式への図

これは、式を多少変形するだけで、直線電流において、 $\epsilon E = Q/2\pi R \cdot dl$

$I = Qv_Q/dl$ を最初の式に代入して

$$B = \mu I / 2\pi R = \mu Q v_Q / 2\pi R \cdot dl$$

つまり、

$B = \epsilon \mu E \cdot v_Q$ 向きまで考えると $v_Q = v_E$ だから結局、 $\vec{B} = \epsilon \mu \vec{v}_E \times \vec{E}$

「Eを動かせばBができる」ことになります。

⑩ よく知られているように、磁束場Bは他の磁極のまわりにも発生し、ここでも「磁極に関するクーロンの法則」が成り立ちます。

$$B = \Phi / 4\pi R^2 \quad (\Phi \text{は磁束})$$

ここでも点磁極があれば、0次元の発生源だから影響は R^2 に反比例するわけです。点電荷と磁極との相似性と違う点を観察させます。(磁束は始まり終わりがなく閉曲線)

⑪ 最後に

「Bが動いてEができ、Eが動いてBができる」ならば、

「互いにそれが原因となる真空の波が存在するはずである」という Maxwell の予言 (1864) があって、Hertz が実証した

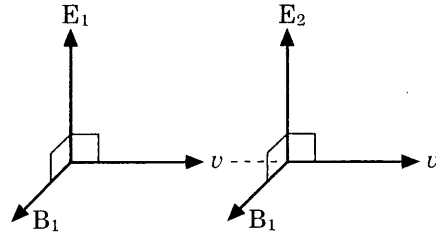


図7 電磁波の速さ c を出す図

(1888)、という歴史的な事実は、理論の先見性を示す一面として紹介したいものです。

$\vec{E}_2 = -\vec{v}_B \times \vec{B}_1$ と $\vec{B}_1 = \epsilon \mu \vec{v}_E \times \vec{E}_1$ であるから、大きさだけで考えると

$$v_B = v_E = v \text{ で}$$

$$E_2 = v_B \cdot B_1 = v \cdot \epsilon \mu v E_1 = v^2 \epsilon \mu E_1$$

$E_2 = E_1$ のときエネルギー保存が成り立ち、減衰しないので、 $v^2 \epsilon \mu = 1$ の波のみ存在可、よって $v = 1/\sqrt{\epsilon \mu} = c$ (光速) (これは実測) 真空を伝わる波動が存在し得るのです。

しかも、その速さは、観測者(慣性系)に依存せず一定というおもしろい結果が出てきます。(cは ϵ と μ だけで、vを含まない)

この「光速一定の原理」と上に述べた「観測系によって電場は磁束場に、磁束場は電場に見えるという相対性原理」を基礎において、アインシュタインの特殊相対性理論は形成されたのです。

電磁波の存在については、Hertz の実験をやらせたいし、電磁波の性質(光も電磁波)についても実験しておきたいところです。光が電磁波の一種であり、そのために磁場から力を受けて偏光面が回転するという「ファラデー効果」については、演示の実験をします。

(註)「理科教室」1999年10月号所収朝生論文

マンガで見る電磁気実験 (コンデンサーの充放電と電圧)

生徒の授業ノートに書いたマンガから=1988年、千葉高

①

マンガでみる電磁気実験



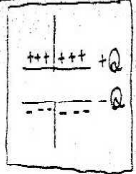
今日、ここで説明せ
いせよ伊加 授業でござい
ます。こちから よろしくお願
いします。

コンデンサーにたまる電荷は正か負か?



えへ、まず授業の始めた、この問題が
ありましたね。確かに、コンデンサーの
正電荷だの負電荷ねんて、前の授業で
やってました。

コンデンサーの図



ところが、コンデンサーというのは、絶縁体を
はさんで、片方に正電荷、もう片方に負電荷が
たまり、 $+Q \text{ coul}$ 、 $-Q \text{ coul}$ みたいな
状態を「 $Q \text{ coul}$ の電荷がたまっている」と
言うのよ。だから、「正電荷が負電荷か」とい
う質問は おかしいわ。



だから、電荷には、正と負があって、両方が一対にたまり
コンデンサーの役目を初めて果たす、ってわけね。

②

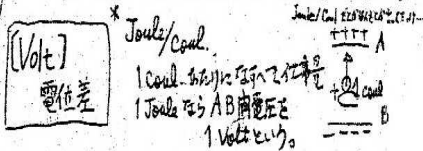
F(ファラド)って何だろう?



では、次に、今日のメインである
これについて説明を
させていただきます。



その前に、電圧についてなんですけど、これは、要するに、
電気を流すための仕事でも考えればいいかな。
つまり、正と負の電気の引き合う力が、この電圧に
かけだか。ここでは、空気を出るヤスが電流で出てきた
空気の量は Coul と例えらるわね。でも、これは
しょうがないので、コンデンサーに例えるものを出して、その中に
電気をいれることしよう。



[Coul]
電流量

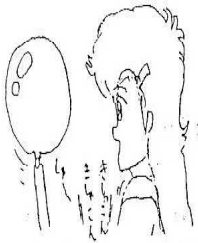
[A]
電流

放電

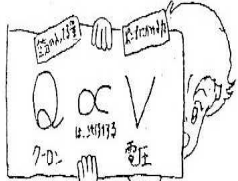


と、やはり、コンデンサーに例えらるものは
ゴム風船に決まってるわ。

③



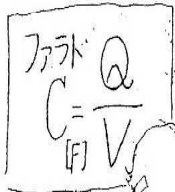
ここで考えてほしいけれど、空気も力を入れば入るほど、風船には多くの空気が入るよな、力が弱ければ当然 入る量が少なくなるから。



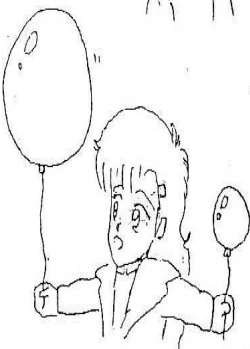
つまり、ここで、電荷量と電圧に、この関係が成り立つのよ。これが、電圧を大きくかければコンデンサーにたまる電荷量も多くなる、これを表している。



さらに、この式は、比例定数 C を使えば、このように書き換えられるのよ、これ別にいいよ、ね...

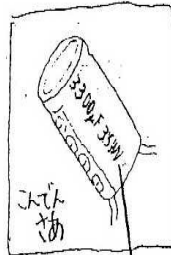


つまり、この C が、ファラドなの、V が電圧、Q が電荷量を表すのよ。このファラドというのは、1ボルトの電圧をかけると、何クワンコンデンサーにたまる事ができるかを示すのよ。



つまり、大きい風船ほど同じくらい多くの空気を入らせるよな、この F の大きいコンデンサーほど多くの電荷がたまるのよ。

④



ええ、これは見ての通りコンデンサーねって、ここに書いてある、これは何か分かる？
"3300μF" は、今説明したように、ファラドの値ねって、"350V" これは、コンデンサーにかけたときの電圧の最高を示しているの。

* Withstanding Voltage
「耐圧」とい。



つまり、風船が耐えきれないくらい大きくなって空気を入ると、そのときに風船が耐えられなくて、「は〜ん!」と、て大きさを立て割れるのよ。



この「音を立てて」という所、おこす音がよく聞こえておもしろいよ。

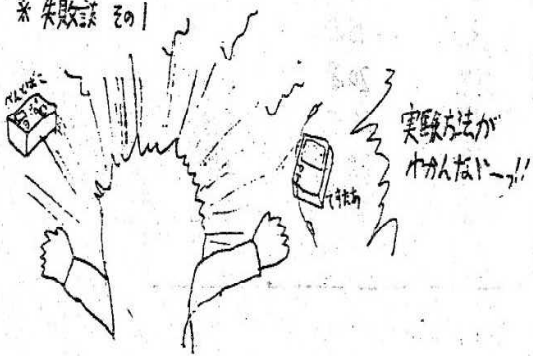


電磁気実験(2)
プリントを見ながら...

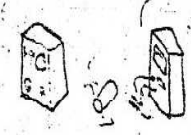
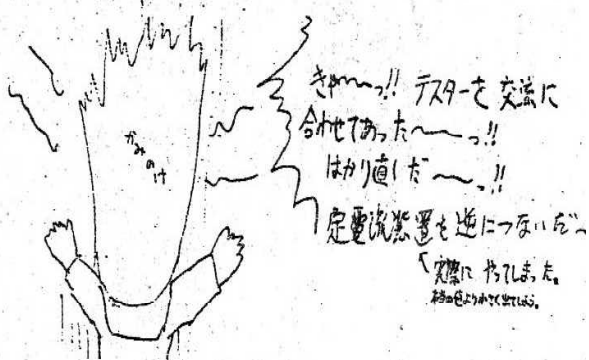
⑤

実験方法
 1. コンデンサに電圧かける。
 2. コンデンサを放電する。
 3. Coul を本める。
 4. 別の F を本める。
 5. いろいろ電圧変えてみる。
 6. コンデンサに書かれた数字と同じか確かめる

*失敗談 その1



*失敗談 その2



と何人か言っただけで、
 ほんじゃ 実験は
 終わったのだった。

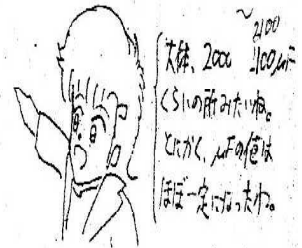
⑥

実験結果を書いておこうね!!

充電は $Q=I \cdot t$ で、放電は一瞬。

電圧	電荷 $\mu A \cdot sec$	μF
1	2.1	2100
2	4.0	2000
3	6.0	2000
5	10.5	2100
6	12.3	2100
8	16.8	2100
10	20.8	2100
12	24.5	2100
14	29.1	2100
18	38.0	2100

2200 μF のコンデンサで実験。



7は、今日の授業ノートはこれ終かりです。
 またの機会を お待ちしております。

充電電圧 V	$\frac{Q}{V} = C^*$	μF
1.0	3.0×10^{-3}	3000
2.0	3.5×10^{-3}	3500
3.0	3.0×10^{-3}	3000
4.0	3.5×10^{-3}	3500
5.0	3.6×10^{-3}	3600
6.0	3.3×10^{-3}	3300
7.0	3.1×10^{-3}	3100
8.0	3.1×10^{-3}	3100
9.0	3.1×10^{-3}	3100
10.0	3.1×10^{-3}	3100

3300 μF の
 コンデンサで...
 (3300 μF の?)

$Q = CV$

では... Bye!!

「授業ノート」に生徒が実験の様子を描いたものです。
 実験室での実験風景がよくわかります。