

1. 復習

物理学

労多くして実が少ない？

数学. . . 数や図形のパズル. . . 出来ると楽しい. . . その実は「論理学」

物理. . . もの（主に無生物）のありさまに理屈（法則）をつける. . . しかも数式で

数式で、こんなに変化に満ちて色々なことが起きている世界を記述するのは無謀？

自らの行動が（単純な）法則に支配されているなどとは信じがたい

なぜそう感じるのか

数式は（比較的）単純 ↔ 実際に起こっている現象は複雑（に見える）

=>数式で現実の「もの」の動き（変化）を考えるのは無謀. . . できたとしても. . .

現実の複雑な（それでいて面白い）現象から、普遍的な特徴を抽出する作業は大変

科学に携わるときの基本的な態度

「なぜそうなるのだろうか」をよく考えぬく

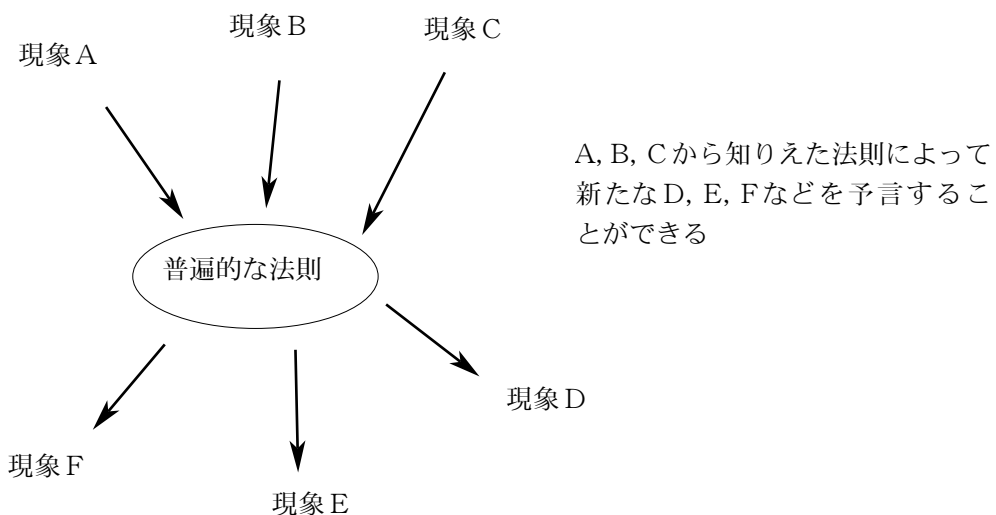
どうして私は生まれたのか > 生命活動の一つ > なぜ生命があるのか >

われわれはどこから来たのか > 世界、宇宙はどうしてあるのだろう. . .

ものは何から出来ているのか > なぜ分子や原子があるのだろうか.

このような考え方は、. . . どの分野で仕事をするにも大切なことのはず

一旦、「なぜ」がわかると、そのことを元にした応用と発展の範囲は極めて広範（経験則）



例えば ニュートンの運動方程式

力を受けて運動する様子は全て（相対論的な場合を除く）

振動・波動現象

ばねの振動が理解できれば、電気振動も理解できる

ひもを伝わる波の現象が理解できれば、音や電波等の現象も理解できる

定性的・定量的な考え方

物理（自然科学）を進めていく際の2つの側面

定性的．．． だいたい、適当に、直感的に理解する

わかった気がするので、楽しくなる？

定量的．．． 数量を正確に扱い、現象を説明・予言する

科学を実生活への応用する際には定量的な計算に基づく場合が多い

1. 物の成り立ちと静電気の復習

物質の成り立ち

無生物、生物、色々な形、色、香り、堅さ、重さ、、、

多種多様な様相がいかんして出来ているのか？

それらをうまく利用したい、役に立てたい、、、 科学者・技術者の責任

分子 > 原子 > 電子+原子核 > 陽子・中性子 > クォーク >



この授業ではこのあたりまで

日常の世界では、電気力・磁気力と重力がもっとも重要な役割を果たしている

原子の構造

- ・ 大き（直径）さが約 $10^{**}(-13 \sim -12)$ cm 程度の原子核の周り、約 $10^{**}(-8)$ cm 程度の領域を電子が回っている。物質の大部分は空虚
- ・ 原子核は、陽子と中性子から成り立っている
- ・ 質量の大部分は原子核が担っている
- ・ 電荷は、陽子と電子は大きさ同じで反対の符号、中性子はゼロ電荷

電気素量： 1.6×10^{-19} [C]

質量： $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ [kg], $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ [kg]

問1 アボガドロ数から原子の大きさを概算せよ。

問2 原子核に物質の質量が集中しているとすると、地上に存在する物質のうちおよそ何パーセントが質量を担っていることになるか、その体積比を概算せよ。

問3 原子核だけから成る核物質 1 cm^3 あたりの質量を概算せよ。また、地球が核物質になったとすると、その半径はどの程度になるか。

クーロンの法則 ねじればかりを用いた観察実験

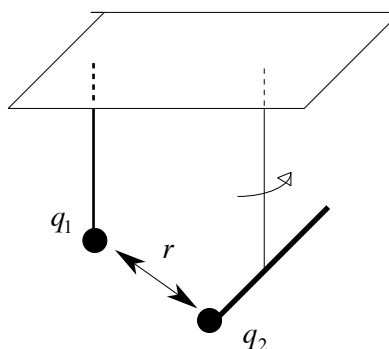
電気は逃げやすいので注意深い実験が必要

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

$$k = 8.9875518 \times 10^9 \text{ [N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2]$$

$$\epsilon_0 = 8.9 \times 10^{-12} \text{ [C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)]$$

- ここで r は 1, 2 の距離、 \hat{r} はそれらを結ぶベクトルで長さが 1 の単位ベクトル
- 向きは、 q_1 と q_2 が同符号なら反発力、異符号ならば引力となるように決める。



問4 1 [kg] で 1 [C] の電荷を蓄えた物体が 1 [m] 隔てておかれているときに作用するクーロン力を求めよ。この力を重力と比較せよ。

問5 お互いに等量の静電気を帯びているために、君と 1 m 離れて立っている友人との間に 10 gw の力を感じているときの静電気を概算せよ。これは君の体の全電子数のうち、何パーセントの電子の電荷に相当するか。ここでは電荷の符号は考えないことにする。

問6 (電流の単位) 1 [A] は 1 [C] の電荷が 1 秒間に移動する電荷の流れの量である。1 [A] は、毎秒何個の電子の移動に等しいか。

問7 直径 1mm の銅線に 1 [A] の電流が流れるときの、自由電子の平均速度を求めよ。銅の比重、1 モルの重さは各自調べよ。自由電子は、銅原子 1 個当たり 1 個の放出されるものとする。

これらの問題から、電流で簡単に流すことの出来る電荷を取り出そうとすることは、非常に難しいことがわかるだろうか。正負の電荷等量が混ざっていると全体で中正に見えるが、この混ざりの中から、一方の電荷を引き離そうとするには、電流を流すための力に比べ、膨大な力を必要とする。このことを日常的なことにたとえて、感覚的に理解することは出来るだろうか。

電気力線の保存

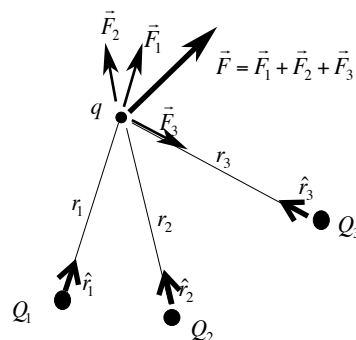
電荷から電気力線が等方的に放射されていると考える (実際に何かが流れているわけではない)。電荷を中心にして、半径 r の球面上に分布する力線の密度は r^2 に反比例する。そこに置かれた別の電荷が中心の電荷から受ける力が、この力線の密度に比例するという考えは、クーロンの法則を「理解」する方法である。半径 r を大きくすると、力線の密度、従って静電気力も減少していくが、球面全体に分布する力線の総数は変わらない。この、一見当たり前のことを、力線の保存則という。

重ね合わせの原理

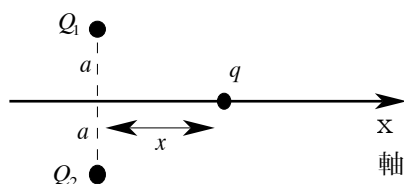
電荷 q が複数の電荷 Q_1, Q_2, \dots から受ける力は、それぞれの電荷から受ける力のベクトル和に等しい：

$$\vec{F} = k \frac{qQ_1}{r_1^2} \hat{r}_1 + k \frac{qQ_2}{r_2^2} \hat{r}_2 + \dots = \sum_i k \frac{qQ_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

(記号の意味は図を参照)



問8 2つの電荷 Q_1, Q_2 が距離 $2a$ へだてておかれてあるとき、中心線上におかれた電荷 q が受ける力を、 Q_1, Q_2 が同・異符号のそれぞれの場合に求めよ。



電場

単位電荷に働く静電気力を電場と定義する：

$$\vec{F} = k \frac{qQ}{r^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \hat{r} \quad \text{に対して} \quad \vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = q\vec{E}$$

電場は、電荷のまわりの空間自身の性質と考える。すなわち、電荷があることによってまわりの空間はゆがめられ、そこに置かれた別の電荷は空間のゆがみのために力を受けると考える。

ガウスの法則

電荷を取り囲む面を通過して行く力線の総数は（外に向かう力線をプラス、うちに向かう力線をマイナスと数える）、面の内部の電荷（を ϵ_0 で割った量）に等しい：

$$\Phi = \int_{\text{any surface}} d\Phi = \int_{\text{spher}} k \frac{Q}{r^2} dS = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

問9 半径 a の球面上に電荷が一定の面密度 σ で分布している場合、ガウスの法則を使って球の内側、外側の電場を求めよ。

問10 半径 a の球内に電荷が一定の密度 ρ で分布している場合、ガウスの法則を使って球の内側、外側の電場を求めよ。

問11 無限に長い半径 a の円柱の内部に電荷が一定の面密度 ρ で分布している場合、ガウスの法則を使って円柱の内側、外側の電場を求めよ。