

物理の話(5)

山内齊

2018-2-3

Contents

1	はじめに	1
2	世界は原子と分子からできていることのもう1つの観測	2
2.1	観測と知覚の違い	2
3	ニュートンの力学	3
3.1	力とエネルギー	4
3.2	運動エネルギーと分子	4
3.2.1	今後の課題	5
3.3	熱いコーヒーを冷ますには	5
3.4	動摩擦と静摩擦	5
3.4.1	今後の課題	6
3.5	ニュートンの運動方程式をもう少し	6
3.5.1	今後の課題:	6
3.6	力とエネルギー	7
3.7	エネルギーと仕事率	7
4	力学的運動エネルギーと位置エネルギー	7
5	理想気体を少し	7
5.1	今後の課題	8
6	宿題として考えて欲しいこと	8
7	次回について	8

1 はじめに

この会では「わかる物理」をめざす。ここで私の言う「わかる物理」とは、それは簡

単だからわかるということではない。より単純で基本的な原理から1つ1つ順を追うことでわかるような物理の入門ができたらと思う。物理の言葉を少し話すことができることを目標とする。

また、メモは忘備録のようなもので、全ては示さない。特になぜそういう議論をしたのか、どうしてそのような話をしたのかについての詳細は省くことが多い。たとえば、そもそもなぜ物理の話をするのか、などはそうである。実はそこでの議論こそが本質であり、参加者の間で共有できることは素晴らしいと思う。しかし、ここでの本質の部分というものをメモとして残すのは難しい。このメモでは議論の内容の詳細は省き、結論の概要となっている。

また、このメモはこの会での議論の時間順になっている。たとえばエネルギーの話は何度もでてくることになる。

本日の参加者: 4名

2 世界は原子と分子からできていることのもう1つの観測

前回は世界が分子や原子からできていることがどうしてわかってきたか、また、その片鱗をみてきた。たとえば、分解された気体の体積の比が整数比になることや、燃焼などの化学変化では元素の質量が整数比になることである。また、物質には態(気体、液体、固体)があり分子でできているとこの移り変わりが説明できることなどを話した。

今回の冒頭にはブラウン運動という現象の話をした。花粉の粒子や煙の粒子を顕微鏡で観察すると、細かく動く現象を目で見ることができ、これをある目には見えない小さな粒子があることで説明、計算できることを見た。

世界は周期表にある元素だけでできているわけではないが、身の回りにおいて触れるものは元素からできている。触るといえるのは人間の感覚なので、本当は測定器で測定可能なものと言うべきかもしれない。

2.1 観測と知覚の違い

少し脇道にそれるが、ここで、人の知覚で存在していることと、物理的に存在していることは少し区別しておこう。日常では、「見た」ということを「存在した」と同義に使うことであるが、目に見えたというのは、ほとんどは目が光の信号を受けとってそれを脳が知覚したということであって、そこに実際に物体があって光を発していたかとは同じではない。(そう言うのであれば、「見たという記憶がある」というべきであって、「見た」という事実と「見た記憶がある」を区別する必要もある。)さらに、目が光の信号を受けとらなくても、薬物などで脳が誤ってそれを知覚したと考えることで脳はその存在を信じることができる。しかし、これは物体があったかどうかとは異なる。見たことと存在したということは区別する。これは機械でも起こる。センサーが壊れていれば、存在しないものを機械は存在すると報告するだろう。この、「人間の脳が知覚した」とこと、「そこに分子や原子の集合としての物体があった」とことは同一ではないことを心に置くと良いかと思う。

物理は個々の人々の真実，たとえば幸福などを追求する学問ではなく，物理がこの世界のありのままを追求する学問であることに由来する。そして，物理的現象と人間の知覚には乖離があることもあるので，今回の物理の話ではそのようなこともいくつか注意した。知覚する真実と物理的な事実はまた異なる。真実は人の数だけあるが，物理的な事実は客観性を求めたり，真実間の関係性を必要とすることが多い。

たとえば，私自身，自分自身の幸福の追求は重要なことであり，それは私にとって真実である。私にとって友情や愛情，信頼は重要なものであり，存在すると知覚するものである。物理では，これらが人によって異なるからそれを考えないのではない。個人の真実を切り捨てるつもりは毛頭ない。単に物理学が個人それぞれの異なった真実を追求するものではなく，この世界にある物質というものの性質を追求するという学問ということだけを区別するだけである。たとえば，私が知覚し，信じている「人権」や「幸福」というものは，私の身体を開いて取り出そうとしても，物理的には発見できない。それは私には重要であるが，単に物理学の対象ではないということである。たとえば個人の幸福のようなものは物理的ではないということはおそらく合意が形成できるだろうが，もっと物理的と思われるようなものでも実は物理的ではなかったりする。たとえば，筋肉の力を出している知覚と物理でいう力は一致しないことがある。時に，日常では物理的な存在と知覚的な存在を混同することがあり，「見たから存在する」とか「感じたから存在する」ということは物理的ではないことを注意しておく。ただし物理学はまた人間が行う活動でもあり，完全にこれらを区別することは困難である。たとえば「理解」は知覚の領域にあるだろうが，「物理的現象を理解する」ことが物理学を学ぶことであり，究極的には分離はできない。

3 ニュートンの力学

ニュートンの力学の概要を見た。

- 第1 法則: 慣性の法則，慣性の法則とは何かについての議論をした
- 第2 法則: ニュートンの運動方程式 $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ についての議論，その変形によりそれぞれの性質を議論した
- 第3 法則: 作用反作用の法則。 $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$

以上を議論するために，以下の話をした。

- 位置とは何か。どうやって示すのか?
- 距離とは何か。どうやって示すのか?
- 速さとは何か。どうやって示すのか?
- 速度とは何か。速さと速度はどう違うのか? 速度の式 $\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{d}(t)}{\Delta t}$ の意味
- ベクトル量とは何か。スカラー量とは何か。(速度はベクトル量であり，速さはスカラー量である。)

- 加速度とは何か。加速度の式 $\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}(t)}{\Delta t}$ の意味。どうして、速度の式と加速度の式は似ているのか
- 加速度がわかればニュートンの式の \mathbf{F} 、力がわかる。

例として、本棚に力を与えて押そうとしているが、本棚が動かない場合、この時の力は何か？ この時の本棚にかかる力は $\mathbf{0}$ である。(ここでこの $\mathbf{0}$ はベクトルの $\mathbf{0}$ であって、スカラの 0 ではない。これはなぜかを議論するのを忘れてしまった。太文字と通常の文字は意味が違う。)

ここで本棚にかかっている力はつりあっている。作用反作用の法則の話も含めた。ここで人間は力を出しているのに、本棚には全体としては力がかかかっていないというのは人間の知覚的に不思議かもしれない。しかし、力は加速度で定義されているので、動き出さない限り、本棚にかかっている力の和は $\mathbf{0}$ である。実際は本棚を押しても、床との摩擦や、本棚の後ろの壁が結果としてまったく同じ力で押し返してくるので、本棚にかかる力はつりあってしまい、 $\mathbf{0}$ となる。

これは人間の知覚と物理の乖離の良く起こる地点だと思ったので、注意しておいた。たとえば、ジュースを持っていると、人間は疲れるので、力を出していると考えられる。しかし、ジュースの立場にたってみると、ジュースが動き出しもしないのであれば、ジュースが机の上に置かれていることと、人間が持っていることはジュースには何の違いもない。この場合、ジュースに働く外力はつりあっていて、動かない。綱引きで力が釣り合っている場合、綱は動き出さない。動き出さないものには、かかっている力の和は $\mathbf{0}$ となる。

ここで、 1 kg の質量のものに、 1 m/s^2 の加速度を与える力を 1 N (ニュートン) と言う。この単位はニュートンの運動方程式から、 kg m/s^2 である。これを導いてもらった。

SI 単位の話をした。全ての SI 単位 (Système international (d'unités)) は基本単位から導かれる。基礎の力学では、質量 (kg), 変位/長さ (m), 時間 (s, second), 絶対温度 K (ケルビン) からと考えて良いだろう。(実は後4つある。)

3.1 力とエネルギー

エネルギーは仕事とも翻訳される。

3.2 運動エネルギーと分子

ここで、世界が原子と分子でできている時、ニュートンの運動方程式はどう関係してくるのかを気体を例に話をした。気体の分子はニュートンの運動方程式に従い、ぶつかりあっている。1 リットル中に気体の分子は大量にあり、分子はばらばらにぶつかりあっている。これが空気の圧力を生む。飛行機が上空に行くと、外部の圧力は下がるが、内部の圧力を一定に保つということをする。この内部の圧力は、気体の分子が飛びまわり、飛行機の中の壁にぶつかるために起こる。大量にぶつかるので、個々の衝突はわからないが、全体として圧力を生じる。

この分子の平均の速さは窒素の場合、300 K で400 m/s 以上ある。しかし、空気全体を見れば風がない場合には止まっているように知覚される。(知覚と物理現象の乖離の1つ)

この気体分子の持つ運動エネルギーを巨視的に観測した平均が温度であるという話をした。つまりここでは運動エネルギーと温度の関係がでてくる。

ここで、熱とは何か、温度とは何かという話がでてきた。分子や原子からできているとすると、温度は何か、熱とは何かの性質がいくつか説明できる。

気体の温度は平均の運動エネルギーの話であり、ある温度でもある分子は平均よりも遅く、ある分子は平均よりも速いということはある、その分布が存在する。

3.2.1 今後の課題

- アボガドロ数の話は少ししたが詳細はなかった。のちほど再考する。
- 気体分子運動とかかわりのあるMaxwell Boltzmann 分布の話も少ししたが、これもまた再考する。

3.3 熱いコーヒーを冷ますには

熱いコーヒーには水の分子が液体として飛びまわっている。水の分子で運動エネルギーの高いものが蒸気として上に飛びでてくる。カップにふたをすると、これはまたコーヒーに戻るかもしれない。そうすればエネルギーはそこにとどまる。

つまり、熱いコーヒーを熱いままにしておく1つの方法は「蓋をする」ということである。

あまりにあたりまえと思うかもしれないが、物理学的にこの現象が理解できる。

では冷やすには、この高いエネルギーの分子をコーヒーカップからとり除けば良い。つまり蒸発してきた水分子を除去することでコーヒーから分子の運動エネルギーを除くことができる。つまり、熱いコーヒーを冷ますには、ふーと「吹け」はいい。

これは経験的に人々が知っていることであたりまえと思うかもしれないが、物理学的にこの現象が理解できる。ちなみにこれは物理学の大学院生の教科書であるファインマン物理学にもある。「熱かったら吹け」

単に吹けばコーヒーの温度が下がるのではなくて、なぜそうなるのかをもう一步理解することは重要である。そしてそれが分子と原子、運動エネルギーから理解できる。

3.4 動摩擦と静摩擦

摩擦の話として動摩擦と静摩擦の話をした。ものがすべっている時にかかる摩擦を動摩擦、止まっている時にかかっている摩擦を静摩擦という。

動摩擦と静摩擦のどちらが大きいのかの議論をした。ここで私が面白いと思ったのは、動摩擦の方が摩擦が大きいと参加者の皆が言ったことである。熱がでていて、大きいのではという話があった。ここで、熱がでればなぜ大きいと、力と熱の関

係をどう考えているのかと尋ねるべきであった。摩擦熱と力に関係があるという仮説である。なぜそう考えたのか？

動摩擦の方が大きいと、物はすべらないことの議論をした。また、自動車のアンチロックブレーキシステムはタイヤがすべり出すと、一度ブレーキを外して静摩擦に戻すことでより良くブレーキをかけることをする。

自転車で強くブレーキをかけっぱなしにするよりも、一度滑り出したら、ちょっとゆるめてまたかけた方がはやく止まるという実験をするのも良いだろう。

3.4.1 今後の課題

ここで、摩擦というものがそもそもどうしてあるのかを分子と原子の存在から説明してみようという話をしたが、これはなぜか話がそれてしまってできなかった。今後にも再考する。

3.5 ニュートンの運動方程式をもう少し

運動方程式を以下の形に変形し、その意味を考えてみた。

- $F = ma$
- $m = \frac{F}{a}$
- $a = \frac{F}{m}$

特に質量とはいったい何かについて少し注意したが、これはまた再考すべきだろう。質量の式を見ると、 m が大きいと F が大きくても a が大きくならない。つまり、質量の大きいものは動かすのにより大きな力がある。これはあたりまえかもしれないが、ちょっと考えて欲しい。

また、地球上の重力を力とみると、この重力加速度が g という一定の値である。アリストテレスは2倍重いものは2倍早く落ちると考えていたが、この加速度が一定ということは、重いものも軽いものも、同じ速さで落ちる。

落ちる時の加速度は質量ではなく、抵抗でほとんどが決まる。たとえば、パラシュートは開いても閉じていても質量は同じはずである。しかし、開いている場合と閉じている場合では、落ちる速さは違う。質量が速さを決めているのではないことに気がつくといい。これも人間の知覚と実際の世界の乖離の1つとして良くあるので注意しておいた。

実際に1セントのコインと2ユーロのコイン、あるいはコインが全部入った財布全体を落としてみて、ほとんど同時に落ちることを実験してみた。

3.5.1 今後の課題:

質量と重さの違いの話を忘れてしまった。

3.6 力とエネルギー

エネルギー(E) はある物体をある力である距離動かしたものである。

$$E = |\mathbf{F}d|$$

つまり止まっているものをある距離動かした時に、エネルギーがあるとか、仕事をした。と言う。

ジュースを手で持って動かさないでいる時、やはり人間は持っている疲れるので、エネルギーを使ったと思う。しかし、ジュースからしたら、手で持たれていようが、倉庫の床に置かれていても、動かないのならば同じである。これもまた知覚と物理の乖離の1つとしてあるので注意しておいた。

ある物体を1 N の力で1 m 動かすと、1 J (ジュール) のエネルギーがその物体に与えられる。

J の組立単位を導いてもらった。

3.7 エネルギーと仕事率

ここで1 J だけを言うと、質量によってある物体が動く時間が変化する。ある意味、どんなに時間をかけても最終的に1 J 出せばエネルギーは同じである。しかし。生活では、ある時間内にその仕事が終わらないと意味がないことも多い。あるものを運ぶにしても、1 時間で終わったのか、1 年かかったのかの区別がないのでは不便である。そこで仕事率(Power) という概念がでてくる。

仕事率は1 秒間に何ジュールの仕事をしたかで決まる。これをW (ワット) と呼ぶ。

4 力学的運動エネルギーと位置エネルギー

今回は導かなかったが、力学的運動エネルギーを $\frac{1}{2}mv^2$ 、位置エネルギーを mgh という形で提示しておいた。

今回はこれがエネルギーであることを示してみたい。

5 理想気体を少し

気体は分子からできていて、その温度は実は分子の運動エネルギーの平均であることについて議論をした。ここから、冷房はどうやったらできるのか(ヒートポンプ) がどうやったらできるのかの話をした。

ボイル=シャルルの法則

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

5.1 今後の課題

これがわかれば温度計が作れることを話し忘れてしまった。

6 宿題として考えて欲しいこと

- ボイル=シャルルの法則から温度計を作る方法を考えて下さい。
- 温度とは分子の運動エネルギーの平均値であるという話をした。ところで、ある部屋にある木と鉄を触ると、鉄の方が冷たく感じる。部屋にずっと置いてあれば、両者は同じ温度である。つまり、両方の分子の持つ運動エネルギーは同じである。(ここで内部エネルギーなどは考えないとする。) では触るとなぜ冷たさなどが違うように知覚するのであろうか? また、サウナ内部では蒸気の温度が80度になることもあるというが、80度の湯をかぶれば火傷は確実であろう。なぜ、サウナでは人は大丈夫であり、湯では火傷するのであろうか? これは世界が分子でできているという話で理解できるのか?

7 次回について

いくつか話を忘れてしまった部分があるのでその部分を再考したい。また、理想気体の話をもう少しするのが良いかと思う。あとは、運動エネルギーと位置エネルギーがエネルギーであることと、その式の導出。ワットのための湯沸しの実験も良いだろう。日常に見られるニュートンの力学の法則をもう少しつめていくのも良いかもしれない。あとは、速度と加速度の計算なども日常とかかわってくるので考えてみたい。