

物理の話(11)

山内齊

2018-9-1

Contents

1	はじめに	2
2	自学の場合の手引き	2
3	原子と分子とエネルギー保存則	2
4	電子の重さと原子核の構造	3
5	気体と熱	3
6	電流と磁場と力	3
7	なぜ交流を使うのか	4
8	浮力	4
9	熱力学とエントロピー	5
10	ブラックホールについて	5
10.1	ブラックホールとは何か	5
10.2	光も出さないブラックホールがあるとどうしてわかるのか	5
10.3	規則正しい電波を出す天体	6
10.4	連星	6
10.5	重力波	6
10.6	銀河の形状	6
10.7	様々な仮説と計算, そして理論	6
10.8	宇宙の熱的死	7
11	訂正	7

1 はじめに

本日の参加者: 3 名

2 自学の場合の手引き

今回の内容は以下で学ぶことができる。

<https://www.khanacademy.org/science/physics/one-dimensional-motion>

日本語の翻訳字幕の進捗状況は以下のリンクのあるものになる。(リンクは紙面の都合で改行されているが、空白や改行はない)

[http://sundayresearch.eu/hitoshi/sundayresearch/
khanacademy_japanese/science/
ja_science_physics_01_one_dimensional_motion.html](http://sundayresearch.eu/hitoshi/sundayresearch/khanacademy_japanese/science/ja_science_physics_01_one_dimensional_motion.html)

今回はあまり実際の計算などをせずに物理についての疑問などの話が多かった。

3 原子と分子とエネルギー保存則

何度かした話であるが、ほとんどのことは世界が原子と分子でできているということに関係がある。エネルギー保存則について、特に運動エネルギーと熱エネルギーについて考えてみた。

熱が分子の運動とすると、実はそれは運動エネルギーそのもの見え方にすぎないことについて話をした。そうすると、運動エネルギーを熱エネルギーに「変換する」というこの「変換する」という言葉についての疑問が生じる。微視的にみると、どこにも「変換」がないからだ。「変換」という言葉は正式なものであるので、他の人たちとのコミュニケーションには欠かせない。しかし、変換ということがどう起こっているかを見てみると、そこには本当に変換はあるのかという疑問がでてくる。また「変換がない」のだからエネルギーが保存されるのも当然に思えてくる。1 個の粘土を3 つのカタマリに変換してもその全体の重さが変わらないようなものだ。これを質量の保存則と言うのがいいのかという疑問がでてくる。なぜなら特に変換しているわけではないからだ。世界が原子でできているということがわからなかった場合、あるいは日常生活の中では炭化水素の物体は砂糖にもなり樹木にもなるわけで根本的に変換されたと知覚されてしまうことも大きいと思う。しかし原子でできていて原子そのものは変化しないのであれば、質量保存の法則というのは粘土の話のようなものである意味あたりまえと言える。

4 電子の重さと原子核の構造

原子核の構造が謎だった時代には、プラスの電気の何かとマイナスの電気の何かか混ざりあっているという考えもあった。プラスの電気の何かとマイナスの電気の何かがあるということは電池を作ることができたので、わかっていたからだ。またそれなのに全体として電気を帯びないというのはそれらがつりあっていることもわかっていた。

ラザフォードの実験の話をして、構造についての話をした。

また、電子線の話をして電子の質量を求める方法もあった。これはブラウン管のテレビを作る方法でもあり、昔のテレビを知っていれば、身の回りにあるものである。今は液晶が主でありこういうものを知らない子どもも多いかもしれない。

5 気体と熱

気体が気体分子の飛びまわった状態だという話は、以前ブラウン運動の観測で話をした。そして温度は分子の運動エネルギーの平均という話もした。そうすると、熱を加えると、気体がより速く飛ぶので、気体を閉じ込めた壁に当たる時の力も増える。だから熱を与えると膨張するし、逆に冷やせば収縮することの説明もつく。また、どんな個体も温度を上げていくと多くは液体の状態を経ていつかは気体になる。個体の時にでも温度が上がれば物体が膨張する話もこれで説明されるし、昔のデジタルでない、アルコール温度計や水銀温度計はこのような現象を使って温度を表示していた。

ここにも原子と分子で世界ができていることの間接的な証拠が見える。これだけで原子や分子でできていると結論するのは難しいが、こういうものをいくつも積み重ねていった歴史がある。今は量子効果を利用した顕微鏡で原子を見ることができているが、そういう時代の前でもこうやって世界の理解は広がっていった。

6 電流と磁場と力

ファラデーの法則を簡単に示し、電流が流れるとそこには磁場が発生することを砂鉄を使ってしてみた。また、磁場が変化すると電流が流れるということも電流計を見て実験してみた。これは電場が電子の移動で発生するというモデルで考えた。そこで、この考えに基づいて簡単な電磁モーターを作ったものを見せた。

このモーターには三相交流モーターと違って死点がある。以前Fさんに聞いた話だが、蒸気機関車の死点で機関車が始動せずに自殺した機関士がいるという川端康成の小説の話をしてくれたことをちょっとコメントしておいた。

さて、ここで電流が電子の動きと関係し、これを運動エネルギーと考えるとまたもや電気エネルギーとの差が微視的になくなる可能性を見せた。電場にはポテンシャルがあるので、そう簡単ではないのだが、ここでも「変換」という言葉について考えるきっかけがあればいいと思った。

7 なぜ交流を使うのか

オームの法則($E = RI$)と電力の式($P = IE$)から、電力が $P = I^2R$ になることを導いた。ここで R は抵抗で I は電流である。すると電流の2乗に比例して電力が消費されるので、消費を抑えるには、電流を減らしたい。電力は $P = IE$ なので、同じ電力なら電圧を上げれば電流が減る。ところで、交流はコイルを使うことで昇圧、降圧がやりやすい。特に半導体の発展がまだなかった頃には直流を自由に昇圧する方法がなかった。だから交流が技術的に有利だった。という話をした。

しかし、 $P = IE$ とオームの法則から $P = \frac{E^2}{R}$ も導ける。(導いて下さい。)この場合、電圧が上がると消費電力が増えてしまう。おかしいではないか?ということになるかもしれないがその話はしなかった。

そのためここで補足しておこう。減らしたいのは「送電線で使う電力」である。これは送電線の抵抗(交流なので実はインピーダンスだが詳細は省く)で決まる。同じ電力を違う電圧で送ってみる。30 Wの電力を送る時、簡単のため、30 Vで送る。この場合の電流は1 Aになる。送電線の抵抗を行きが10 オーム、帰りが10 オーム、そして負荷の抵抗がR オームとしよう。10 オームの抵抗での電圧降下は $E=RI$ より、10 Vである。そうすると、電線で10 + 10の20 Wが消費されてしまう。抵抗では10 Wしか消費できない。

しかしここで同じ30 Wを電圧を変更してみよう。300 Vで送ると、全体を流れる電流は0.1 Aになる。電線での電圧降下は1 Vずつになる。すると電線で消費される電力は0.1 + 0.1で0.2 Wになる。残りの29.8 WをRで消費できる。消費者からみればRで消費できる分しか支払う理由がない。

すると30 Vの場合には消費者はほぼ1/3しか電力を受けとらない。66%の電力が送電線で消費される。300 Vにしたとたん、送電線では0.03%しか消費されない。だから高電圧で送りたいのである。そして高電圧にするのが簡単なのは、交流である。ただし、現在の半導体技術の発展によってこの電圧の昇降は直流でもやりやすくなり、制約はゆるくなってきている。

また、ここでの式では送電線の抵抗は変更できないというふうに仮定していた。これは材料と電線の太さと長さで決まるのであまり変更はできないのがこれまでの技術であった。しかし、もし超伝導の電線があれば、この仮定も崩れる。この場合には、電圧を上げる必要もない。それはなぜか説明してみたい。

8 浮力

世界が原子と分子からできていて、それぞれに質量があることから、浮力の存在するわけについて議論した。

液体がある量たまっていれば、重力によって上の液体は下の方の液体を自重で押す。すると底の方が圧力が高くなる。(アルキメデスの原理)とすればどんなものでも体積があれば、下の圧力の方が上の圧力よりも高いので、下から上に押す力が働く。これが浮力である。巨大な石を運ぶ時に、船で水中につり下げること、船の支える重量を減らすという話もした。重力の影響がない場合には圧力が一定となる話もした(パスカルの原理)。

また、スポイトとペットボトルを使って簡単な潜水艦の模型を作り、実際に浮力を変化させて浮き沈みをさせた。これを利用した温度計も見てもらった。あとU-boatという映画にでてくるいくつかのシーンがこれに関係しているという話をした。

浮力は物体の押しよける体積と回りの物体の重量、その場合には特に密度が重要になる。浮くかどうかは質量ではなく、その物体の密度になる。質量であれば、石は細かく砕けば水に沈まなくなるし、巨大な船は必ず沈む。鉄の船には中に空間があり、その空間の空気の密度が鉄よりもずっと低く、鉄でできた船の密度は平均すると水よりも低くなっていけば浮く。しかし、水が入って空気がなくなり、船全体の平均密度が上昇すれば船は沈む。

Fさんは熱気球に乗る時に朝早く来るように言われたことがあるそうだ。というのも昼になり気温が上昇するとこの密度の差が減り、浮力が不足するためである。

9 熱力学とエントロピー

エントロピーというものがある状態量であり、それは組合せをもとに考えられるという議論をした。ある状態の組合せは分子や原子の量からあまりに膨大であり、それぞれの状態の交換ができて、ある1つの状態に戻ることはあまりにも難しい。実際に簡単な計算をした。これは計算しないで感覚で行うとまず誤解をする。

マックスウェルの悪魔という仮想の悪魔を考え、もしこの悪魔が存在するのであれば、何も無いところからエネルギーを取り出したり、水に混ざったインクだけを分離することができることについての話をした。しかし、この悪魔が何もエントロピーを増大させないとか、エネルギーを消費しないことはない。この悪魔は存在できない。そのあたりの話は今後の話とする。しかし、このような悪魔がいればある意味、時間を戻すことができる。

10 ブラックホールについて

10.1 ブラックホールとは何か

この世界で知られている物理的な力は4つ: 電磁気力、強い力、弱い力、重力がある。

磁気や電気などと違い、重力には反発の力がない。すると質量が集まれば集まるほど重力は増大し、歯止めがきかなくなる。その状態がブラックホールと考えられている。光すら出てこれない。

星が水素燃料を使い果たして最後に爆発すると、中心に重い質量のものが残る。もともとの星によっては矮星というものだったり、中性子星というものだったりブラックホールだったりする。

10.2 光も出さないブラックホールがあるとどうしてわかるのか

光を出さないということは見えないわけで確かにそういうものがどうして存在するのかと疑問は当然である。以下、いくつかの状況的な証拠を上げていこう。

10.3 規則正しい電波を出す天体

宇宙にはたいへん高速で規則的な電波を発している天体がある。しかも見えなかったりする。あまりにも高速でまるでラジオの電波のようなので知的生命体ではないかと考えられてものがあるが、どうやら知られている限りでは天体らしい。まだやっていないが、角運動量保存則というものがあり、これは回転しているもののその回転力が保存されるというものである。フィギュアスケートの選手が手を広げて回転している時にはゆっくりと、手を縮めると高速で回転する様子で見える。星も通常何らかの自転をしており、小さくなると高速で回転することになる。

この星は重力が強く、星の残骸や星間物質を吸い込む。この時の力が非常に強いとガス自身は熱せられ、つまりエネルギーが高くなり、電磁波を放射する。熱くなったものが光を出す現象は電球という形で応用されてきたので光、つまり電磁波が出ることはあまり問題がないだろう。

このガス高速で回転する星に落ち込む時には規則正しい電波として観測されるのである。ブラックホールそのものは見えないが、その回りでブラックホールに落ち込む物体からの情報でそこに強い重力の何かがあることはわかる。(白鳥座X-1)

10.4 連星

宇宙には連星といういくつかの星が互いを回っている天体がある。その片方が見えないう状況がある。しかし見える星の様子から重力が計算でき、ブラックホールになっているということが予想される場合がある。

10.5 重力波

昨年観測された重力波の元はブラックホールであると考えられている。まずこれはアインシュタインによって理論的に予想されて、ようやく最近観測することができた。理論が先でその通りに観測されるということはその理論が正しい可能性が高い。少なくとも間違っていない。

10.6 銀河の形状

宇宙の銀河は重力によって星が回転しているというモデルで説明できる形状をしている。その中心部の重力を計算すると、おそらくブラックホールが存在していると予想される。

10.7 様々な仮説と計算、そして理論

上記に挙げたものだけではない、いくつかの状況証拠もある。これらを1つ1つ積み重ねてそれらが矛盾せず、また人類が知らないこともその理論で予想されるものを観測していくとそれがこの宇宙には存在する。こうやって宇宙論は発展してきている。現在の理論は完全であるとは言えない可能性はあるが、かなり良いモデルだと言えるだろう。

近年、こういう何百年もかけて確かめられてきたことに関しても、簡単に「嘘だ」という風潮があるのは残念である。

10.8 宇宙の熱的死

エントロピーは増大ししかない。ではその究極の状況はどうなるのだろうか。ある時に宇宙のエントロピーは最大になりそれ以降は時間も無意味になる。これが宇宙の熱的死と呼ばれる状態である。全ての星が燃えつき、宇宙が完全に均一になって原子や分子の動きが意味を無さないような状況である。私はこれを知った時、「宇宙も死ぬ」可能性があるということを想像した時に、物理学者の想像力のすごさを考えたことがある。

11 訂正

ブラックホールはアインシュタインの一般相対性理論の式から導けるため、アインシュタインの考えと説明したが、Wikiによるとアインシュタインはそのようなことは導けるが、そういうことは宇宙にはないと思っていたそうである。ただ、アインシュタインはエネルギーと質量の変換の式を導いたが、質量からエネルギーをとりだすこと、つまり原子爆弾は実際にはできないと考えていたという話も聞いたこともある。質量とエネルギーは等価であるが、それを取り出す方法がわからないということであった。シュレーディンガーという量子力学の基礎の波動関数を考えた人も、彼の考えた波動関数の意味は現在は使われていない。数学という言葉で宇宙を記述したけれども、その言葉の言う本当の意味まではそれを書いた人にもわからないことがあるというのはなかなか面白いと思います。ただ、ある詩人が国語の受験問題に自分の詩が出題された時、「へー、こんな意味があったなんて知らなかった」と言ったという話を聞いたことがあります。これも言葉としての性質なのか、それとも受験というのはあまり意味のないことなのか悩むところです。

12 次回について

次回は斜方投射についてもやろうと思います。あとはBlockchainの話がリクエストにあったので、その話もできたらと思います。今回はあまり実際の計算をしなかったもので、いろいろな誤解があるのではという危惧があります。ただその方が興味は持てる可能性があります。興味がないものは学ぶことができないので、そのへんのバランスが難しいです。