

物理の話(4)

山内齊

2018-1-5

Contents

1	はじめに	1
2	物理学入門再び	2
2.1	物理学とは	2
2.1.1	物理学は何をする学問か?	2
2.1.2	物理学はどのように世界を見るのか?	2
2.1.3	物理学をどう学んできたか	3
2.1.4	ギリシャ時代の物理学	3
2.1.5	人はなぜ物理学をするのか, してきたのか	4
2.1.6	物理学と音楽との関係	4
2.2	世界は何でできているのか	4
2.2.1	世界は何でできているのかをどう調べるのか	4
2.2.2	原子と分子でできているとすると何はわかるか	5
2.2.3	周期表	6
3	エネルギー保存	7
4	その他	7
5	本日の終わりに	7
5.1	反省	7
5.2	宿題として考えて欲しいこと	8
5.3	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: 5 名

2 物理学入門再び

今回は新しく3人も参加したので、物理学とは何か、どうして物理学をするのかの話をし、そしてそれぞれの物理学の学びの経験について尋ねた。

2.1 物理学とは

2.1.1 物理学は何をする学問か?

以下の話題で議論をした。

- 世界が何でできているかを考える。
- 世界がどのようになっているかを考える。
- これは哲学とも関連する。物理学と哲学との違いは何か?

2.1.2 物理学はどのように世界を見るのか?

物理学の世界を見る視点、あるいは方法について以下のような議論をした。これは単に1つの見方であり、他の見方もあるが、物理学はこのようにする。

- 世界を観測する
- どうなっているのかのモデルをあてずっぽうに考える
- あてずっぽうの考えに基いて予測をする
- 予測が正しいかを実験で確かめる。間違いがわかればまたあてずっぽうで他のモデルを考えたり、モデルの修正をする。

重要なことは「あてずっぽう」である。そしてそれを観測して確かめることが共
なう必要がある。そうすると、間違いをすることが根本的に重要である。なぜなら、
新しいものを作る時には間違いをすることが不可欠だからです。過去のもをそのま
ま記憶してそれをコピーすると間違いはないが、新しいものは生みだせない。そし
て、間違えかどうかを自分で考えて確かめることができることが重要である。そのた
めの道具が過去の物理学であり数学である。

質問: 物理学は観測がないといけないと言うが、量子力学では観測できないことが
あると聞いた。それはどうなのか?

回答: 確かに直接観測できないこともあるが、直接ではなく間接的に観測できれば
良い。物理学では観測されないものは存在しないと考える。その意味では、物理学の
枠には観測できないものはない。(観測できないものは物理学の対象として考えないこ
とにしているのだ。) 今回話をしていきたいが、昔は原子や分子は直接見ることができ
なかつた。どうやってこれを確かめたかの話をしたい。

2.1.3 物理学をどう学んできたか

- 物理学とは何かを教わった覚えはない。
- 物理学そのものをやったことはない。(しかし理科は物理学であるので、やって
きたことがないと思っているだけではないか?)
- 式などが難しそう。
- 周期表は覚えるものでその意味は知らない。だから好きになれなかつた。

物理学とは、世界は何であるか、どうできているかを考えるもので、それは多分
誰もが疑問に思うのではないかなと私は考える。

古代のいくつかの文化で人は根源を説明する便利な存在を発明し、それに全ての
責任を負わせた。たとえば、多くの文化で、神様はそういう存在として考えられた。
その場合、もし思考停止が起きてしまうと、実際に確かめられるようなことも考えな
くなくなってしまう。だが、一方でギリシャなどはそういう存在も持ちながら、自然を観
察し、実際に触れるものが世界の要素としてあり、それが何かの規則に従っている
という考えもでてきた。わかる部分は人間が調べ、それでもわからない部分を神とい
う存在にゆだねるハイブリットの考えがある場合もあった。たとえば過去には元素は神
が作ったものだが、人間が触れたりできるものとしてその性質を調べることできる実
験の対象となった。

2.1.4 ギリシャ時代の物理学

ここで少し過去の物理学についての議論があつた。

例: タレスは「水」が世界の要素であると考えた。

議論: 水で説明できないものは? あるいは水で説明できるものは何か。

議論の一部: 火は水で説明できるか。実は火からは水がでるので、ここでは、鍋
に水をはってライターの火を近づけると表面が曇る例を見せた。この曇りは水蒸気で

ある。(これは本来は本当にそうか確かめる必要がある。)つまり火の中には水があることを示唆した。ただ、これを書いていて思ったが、これだから火が水でできているとは限らないという議論はでてきても良かったかと思う。もう少し考えてもらうべきだったかもしれない。

例: ギリシャの4元素説の話と、中国の五行説、ピタゴラスの世界観など、世界には様々な元素説があることについて議論をした。

2.1.5 人はなぜ物理学をするのか、してきたのか

- 純粋な好奇心
- 生活で利用するため: 電気などの利用, 天気や季節の法則
- 哲学の対象: 世界とは。プラトンの対話
- 国家の物理学の利用: 戦争, 農業への利用: いつまでも働く奴隷の追求, 永久機関の追求など

ギリシャ時代に地球が丸いものとして地球の大きさをかなり正確に求めた人がいる。どうやって地球が丸いと考えたのか, どうやって地球の大きさを推定したのかの話をした。(エラステネス: 太陽の高さと場所, 港で船を見る)

2.1.6 物理学と音楽との関係

物理学と音楽はギリシャ時代から関連のあるものとして考えられてきた。以下は少しその話があった。

- 規則(弦の長さと言の高さ(周波数)の数学的関係)
- 音楽の中の対称性
- (交響曲のモチーフ, 曲には構造がある)
- 調律

2.2 世界は何でできているのか

2.2.1 世界は何でできているのかをどう調べるのか

世界が何でできているかについて人は様々な実験をして調べてきた。錬金術師は普通の石から金ができるかどうかを求めた。石と金の違いとは何かがわかれば, 石から金が作れるのではないかと考えた。

化学反応, 電気分解。物質は燃やすなどの反応で他のものになる。また, ボルタの電池の発明によって物質の電気分解も可能になった。

ビデオ: 水を電気分解すると2つの気体になる

ここで重要なのは、分解したものが常に整数比になることである。何に分解されるということも重要だが、実は様々なものを分解するとその体積は決まった整数比になる。

もし物が混ざっているだけなら、どんな比で混ぜてもいい。コーヒーに牛乳をまぜる時、必ず一定の量しか混ざらないということはない。ではなぜ、反応や分解は一定の比なのか？

昔は原子は分子を直接見ることはできなかった、しかし、この「整数比になる」というのは大きなヒントである。これが間接的に観測することの1つである。いったい物質はどんなふうに行っているから整数比になるのか？

人間世界で必ず整数比になるものはあるかを尋ねた。

あまり考えられなかったようなので、ヒントを出した。「選挙の投票数は小数や分数になりますか？」これはならない。しかしそれは何故か？

こういうことを考えていくと、物質というものが、何か分けられない単位でできていることがわかってくる。人間は半分にはできない。だから、投票数は必ず整数になり、分数や小数にはならない。

水だけではなく、こういう実験を繰り返すことで、様々な物質が何かの単位でできていることが予想された。しかし、一見例外的に見えるものがみつかった。特定の分数が見つかることがある。それを説明するのは分子説、というふうになぜ「原子」と「分子」という考えが予想され、実験されてきたかについて話をした。

分子や原子は様々な形をとるが、その全部の重さは変化しないことも実験でわかってきた。つまり物は急に消滅したり、まったく何も無いところから生成しないことも見えてきた。

木を燃やすと灰になり、減ったように見える。これは生成消滅しないことに反していないか？密閉したガラスの水槽の中で木を燃やすと燃えて灰になる。しかし、この密閉したガラスの重さは変化しない。ダイヤモンドは燃やすと消える。しかし、密閉した容器の重さは消えない。目に見えない何かに変化する。これらは二酸化炭素と呼ばれるものに変化するが、宇宙から消滅したのではない。水を沸かすと蒸発して減るように見えるが、それは水蒸気になっただけで消えてしまったわけではない。

余談だが、水の電気分解は日本では必ずやる実験のはずである。それは水が何からできているかということを知るだけではなくて、世界が何でできているかの1つのヒントだからだ。この整数比というのが何故かということが私は重要と思う。

2.2.2 原子と分子で行っているとすると何はわかるか

物質は「固体」と「流体」の状態がある。

「固体」とは何か？「流体」とは何か？の話をした。物理学は言葉を使って理解する学問なので、これらははっきりさせておく必要がある。

流体には「気体」と「液体」の2つがある。この違いは何か？という話もした。

もし、物質が分子や原子で行っているのであれば、「固体」「液体」「気体」は説明できるか？という話をした。その説明をした。

これを物質の3態というが、どんな物質もある共通の条件でこの3態のどれかになる。なぜそうなのか？原子や分子からそれらを説明できるか？できるという話をした。

ケルビンという人が、0度の空気を1度冷やすと体積が約273分の1縮むことをみつけた。冷やすと気体が縮むことを気体が分子、原子からできていることから説明してみるようにした。冷やすと物が縮むことは物は分子や原子できていることから説明できるという話と説明をした。

ここで問題は-273度になると気体の体積が0になることである。生成や消滅しないことに反していないか？実はこの完全に-273にはできない。この限界の低温は「絶対零度」と呼ばれる。

ここで、温度とは何か？熱とは何か？これは原子と分子で説明できるか？という話になった。熱と温度を原子と分子の状態で説明した。

過去、熱は熱素という物質によるものだと考えられていたという話をした。(フロギストン説)たとえば、木が燃えると熱と光がでて灰が残り、灰は燃えない。そして灰は元の木よりも軽い。何か熱の元が木からなくなったからである。「木=灰+フロギストン」という考えである。この方法で説明できないものは何か？摩擦という話がでた。確かに摩擦は何度やってもまた摩擦すれば熱がでるので、フロギストン説の反例となる。

実はこれも学校では必ずすることだが、スチールウールの燃焼実験がある。スチールウールをガスバーナーであぶると、火がでて燃える。そして燃やす前よりも重くなる。鉄は燃えると酸化して錆になる。酸化鉄は二酸化炭素のように飛んでいかないので、重くなる。これもフロギストン説に合わない。フロギストン説で説明できないものはもっとあるだろうが、今回はこの2つだけにした。

このようにいくつかの間接的な実験から、世界が何でできているのか、そして熱とは何かということなどが少しづつわかってくる。

ここで注意して欲しいのは、これらが全て「世界は原子と分子できている」ということの自然な帰結であることである。熱や燃えることや、スチールウールが燃焼で重くなることや、水が電気分解できることは、全て1つの基本の考え、「世界は原子と分子できている」で説明できている。

それぞれを覚えていることは意味がない。現象を点で覚えるのではなく、このように原理から考えて欲しい。

2.2.3 周期表

原子や分子できているという話をずっとしてきたが、ではどれだけの種類の原子があるのだろうか？ということで周期表を見た。

周期表にはこの世界の全ての元素が載っている。また、これ以外には元素は存在しない。それはなぜか？どうして他にないということがわかるのか？という話をした。それは原子の構造、原子核と電子に関係がある。

目に見えない原子の構造はどうやってわかるのか？ブドウパンモデルの話。ラザフォードの実験、X線回折の実験の話をした。これら直接目で見ることはできないものであるが、これらによって間接的に原子がどういう構造なのか推測できる。

電子がなぜ存在するか、ミリカンの実験の話をした。ミリカンの実験でもマイナスの電気は「必ず整数比」になることがわかった。なぜ整数比なのか？多分、参加者は先の話からわかっていたかと思う。何か電気の元となる分割できないものが存在する、ことを示唆しているのである。これに物理学者は「電子」という名前をつけた。

3 エネルギー保存

エネルギーについて今回はあまり話をしていないが、世界が原子や分子できていることと、エネルギー保存で説明できることの話をつくした。

また、分子や原子で世界ができている、あるいは他には構成要素がないのであれば、エネルギーはなくなりようがない。どこかに行ってしまうとなくなるのか？ といおうとしても、世界には他にものがないのに、いったいどこに行くのか？ もしどこにも行かないとしたら、つまりエネルギーの保存があるのなら何ができるかという、エネルギー保存の例として以下の2つの話をした。

- 油圧装置
- てこ

エネルギーの保存から、これらを説明した。

しかしもっと複雑な何かがあってエネルギーは保存している見えているだけかもしれない。それならば、そういう現象を観測しなくてはいけない。そういう物があるかを考えることは良い練習になる。

いくつかエネルギー保存則を満たしていないように一見すると見えるものもあるので考えてみるといい。

4 その他

ブラックホールからは光もでないのにどうしてあることがわかるのか？

これも間接的に観測されるものである。ブラックホールの中に物が落ちれば何も出てこない。光もでてこない。しかし、少し離れた所のものは吸いこまれる。何も無いところに吸いこまれたり、何も無いところを星が回っていたりする。そういうところは通常はX線などを出している。このように星や物などがどのように吸いこまれるかを観測すると、見えなくても、少なくともそこには強い重力があることなどがわかる。そういうものを観測することで、間接的にブラックホールの存在がわかる。

5 本日の終わりに

今回原子と分子で世界ができているという話と、その証拠となる実験などの話をした。また周期表や原子についての話、あとは少しだがエネルギー保存の話とそこからでてくる身の回りの道具の話をした。

5.1 反省

分解や合成で整数比になるのは気体の体積である。私はアボガドロの法則に慣れているので、それを説明し忘れてしまった。整数比になるのは原子の数なのだが、違う種類の気体でも同じ分子数ならば同じ体積になることは歴史的には明らかではなかつ

た。水素分子1 mol の体積と酸素分子1 mol の体積は同じかどうかははっきりさせなくてはいけないことだったことのように思う。そもそもmol の話もまだしていない。

分子と原子から世界ができていることと、エネルギー保存の関連を少し話したが、ニュートンの力学の法則についてまだやっていたなかったので、わかりにくかったかもしれない。

5.2 宿題として考えて欲しいこと

- 冷房はどうしたらできるか:
熱とは何か。温度とは何かの話をした。この世界が原子や分子でできていて、熱についても話があった。では、冷房装置の原理を考えてみて下さい。まだ、必要な物理的法則がそろっていないので、どうしたらいいのかわからないかもしれません。その場合には、冷房とは何ができたらいを分子と原子と熱から考えて下さい。
- 摩擦という現象を世界が原子と分子からできていることから説明して欲しい。
少し物理を覚えていたら、摩擦には動摩擦と静摩擦がある。どうして動摩擦は静摩擦よりも小さいのか。動摩擦とは車で言えばスリップしている状態である。スリップすると車は止まりにくいので、アンチロックブレーキシステムというものは、一時的にブレーキを止める。または、車のレースではブレーキは踏み込まずに、何度も細かくブレーキを踏む。これも摩擦が分子原子から物ができていることと、その関連にあることがわかれば説明できるはずである。今回の話だけでは説明は難しいが、あてずっぽうで説明してみて欲しい。この動摩擦と静摩擦の違いは実はヒントである。

5.3 次回について

物理学とは何かと世界が何でできているかの話をした。次回は这个世界でその物がどうふるまうのかを考えてみたい。つまり、ニュートンの法則の話をしようと思う。