

物理の話

山内齊

2017-9-9

この勉強会では「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。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。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。ここでの議論こそが本質なので、残せたらいいが、煩雑なので気が向いたらにする。なぜなら議論には必ず誤りが入る。その誤りが何故誤りなのかなどを考えていくことが重要である。たとえば、「重い物ほどを速く落ちる」という誤りはアリストテレスすらしており、長いことこの間違いは信じられてきた。なぜ間違っているのか、そしてどうしてそれは間違いなのかを考えることが必要であり、それこそがこの「物理の話」の主題だと思う。

本日の参加者: 3名

1 物理について

- ファインマン物理学
- ジョージ・ガモフの本

1.1 ファインマン

私のおすすめはファインマン物理学である。しかし、この本を全部わかれば多分プロになれると思うようなもので、残念ながらそれをなぞっていくことはない。

ファインマンは物理を次のようにたとえている。神様がチェスをしていて、人間はそれを見ることができるとする。しかし人間にはそのルールはわからない。そこで観測をしてそのゲームを見てどんなルールがあるかというものを見るようなものだ。

つまり物理は、自然を見ること(観測)、そしてそこに何か法則があるのかをみつけること(仮説)、そしてその法則が正しければこれが起こると考えること(予測)、それをまた実験などによって確かめること。によってこの世界をできるだけ少ないルールで記述できないかとするものである。

すると究極的にはいくつもわからないことがある。ルールがわかっても、どうしてそんなルールがあるのかはわか

らないようなものである。スポーツはそうであろう。サッカーでは手をつかわない。それはなぜかと言われたら、それがサッカーのルールだからである。究極にわかっていなものとは、慣性がなぜあるのか、エネルギーがなぜ存在するのかなどである。エネルギーが存在するのはなぜかというのは、実はなぜこの宇宙が存在するのか、と同じ質問である。それは後々わかるとうれしい。しかし、なぜ宇宙が存在するのかなどには物理は答えていない。

1.1.1 余談

- ファインマンはマンハッタン計画では科学者として重要な役割を果たした。
- 広島、長崎の原子爆弾はもともと対ナチス用に開発されたのでベルリンに落とされる予定だった。という話をドイツの人はあまり知らないらしい。
- Big Bang Theory というTV シリーズのメインの科学者がファインマンをあがめているという設定になっている。
- ファインマンはジュリアン・S・シュウインガーと朝永振一郎とノーベル賞を共同で受賞している。

1.2 物について

- 物とは何か。
- 波とは何か。
- 音という空気の波は空気がないと存在しない。海の波は海がないと存在しないし、地震波も地球がないと存在しない。音の波の速さとか地震波の速さというが、ハワイで地震が発

生し時、地震波が日本にやってくる時、ハワイが飛んでくるわけではない。波の速さとは何か。そのうち考えていきたい。

- 光の波は宇宙の真空を伝わってくる。しかし真空には何かがあるのか？海がなければ海の波はなかった。真空を伝わってくる光の波とは何なのか。電波もそうである。(実は光と電波は同じものだが) そういうことも今後話をしていきたい。そもそも真空とは何なのか。
- 原子や電子についての話も今後していきたい。

1.3 座標について

- 物理では、場所によらないものことに興味がある(一般のもの)
- 位置を示すためにどこかに起点を起くが、それはどこでもよい。東京でもいいし、ベルリンでもいい。しかし物理学はそれによって変わらないこと、あるいは変わらないものについて考える。なぜなら、そうであれば、それはパリでも他の都市でも、月の上でも使えるはずだから。私の家でしか起きないような物理現象は(たとえあっても)物理学にはあまり興味がない。
- そのために起点や座標を変換する必要がある。特に量子力学では基底変換があるが、その話は必要がでてきた時にすることにする。
- 変換には実は対称性というものがあり、それもまた重要なものになるが、これもまた必要がでてきた時にする。鏡に写しても物理学は同じに見えるかというような話である。

- 宇宙人ともし通話だけできたとすると、多分上と下については理解することが比較的簡単かと想像する。というのは重力は引き合うものしかないので、宇宙人に惑星に立ってもらうことで、重力に引かれる方向が下と説明することができるからである。しかし、右ということは伝えるのはなかなか困難がある。(実際にはできるのだが。)
- 右を辞書でひくと、「南を向いた時、西の方角」とかあるのだが、では、南をひくと、「日の出る方向に向かって右の方向」とかある。しかしこれでは物理の定義としては使えない。
- 右と左は座標では重要な話なので、また後で話をする。
- 時計回りということも座標に関係するが、時計も人が決めたもの。
- これらについてはどうしてこういうことの話をするのか、そして情報との関係についても述べた。

2 エネルギーのはなし

エネルギーについて知るにはまず3つの基本的な物理量について考えることが必要である。それからエネルギーというものは何かを考えて、ニュートンの考えからエネルギーを定義する。

3つの基本的な物理量とは、

- 長さ(距離)
- 質量
- 時間

である。逆にいえばこれがわかればよい。実はこれらは深い話になるが。これらについてはある程度感覚はあると考える。その深い話の部分は少し議論をしたがこのメモには記さない。

2.1 長さ

長さについては以下の議論をした。

- 長さとは何か。位置とは何か。
- 昔は王様の手の長さとかで定義されていた。しかしこれは問題が多い。なぜ問題があるかの議論をした。
- 長さの単位はSI 単位でm (メートル)
- 1 m はどうやって決まったのか。世界に1つしかないもので、誰でも知っているものの長さで決めた。それは何かについて考えてもらった。どうしてそのようなものにしたのかの議論をした。
- 現在は光の速さを元に決めている。(光が299792458 分の1 秒に走る距離) なぜそうなっているのかの議論をした。

2.2 質量

質量については以下の議論をした。

- 質量とは何か。重さとどう違うのか。
- 重さを昔は権威が適当に決めたりしていた。あるいは特定の植物の種の重さがそろっていたらめにそれを基準にした。イナゴマメ(ギリシャ語でkeration) の豆の重さをカラットと呼ぶなどで決めた重さもある。

- 質量の単位はSI 単位でkg (キログラム)。SI 単位とは何かについては次回。
- 1 kg はどうやって決まったのか。長さを使って決めた。身のまわりにあるものの、4 度の時の10cm x 10cm x 10cm の量のものとして決めた。それはいったい何か、なぜ4 度なのかの議論をした。
- 質量は現在でも質量原器によって定義されているが、この原器そのものの重さが長年で変化することが判明しており、物理定数を用いることが提案されている。それはなぜかの話をした。
- 質量と重さとは違うことを少し詳しく説明した。。重さは月にいけば減り、宇宙に行けばなくなるが、質量はなくなる。しかし、重さがないものが宇宙で簡単に動かせるわけではない。1kg のものと1 トンのものをロケットで動かそうとすると、宇宙でも1トンのものの方が1 kg のものよりも動かすのは大変であること。すると質量とは何か。そういう議論をした。

2.3 時間

時間については以下の議論をした。

- 時間とは何かの話はあまりしなかった。また後に行う予定。
- 時間とは何を基準に決めたのかの議論をした。
- 時間の単位はSI 単位ではs (second, 秒)
- 現在は特定の原子のエネルギー遷移の時間(セシウム133 のある種の振動数を元にして決められている)

2.4 余談

このメモは忘備録として、この「物理の話」でした議論はあまり残さず、何について議論したかの記録とその議論の結論を残す。が、たまにはどんな議論があったかを残しても良いかとここでは余談として残す。

- 10 進法にあっていて、1 日を20 時間にしようという時もあった。
- しかしこうならなかった理由を議論した。それは次のようなもの。
- 時間は分けることができないと不便。20 時間では午前が10 時間になるので、3 でも4 でも分けられない20 時間は使いにくかった。
- 2 でも3 でも4 でも6 でも割れる数は12。英語やドイツ語は12 進法の名残がある。11 と12 は特別な呼び方であって、*einzehn*, *zweizehn* などとは言わない。
- 60 は2 でも3 でも4 でも5 でも6 でも割れる。方位や時間ではとても便利。10 だと2 と5 でしか割れない。
- フランス語には20 進法の名残もある
- 西暦には0 年がない。
- 日本やアメリカでは0 階がない。ドイツでは0 階から2 階までは2つの階を通らないといけないことがわかるし、地下に行く時には特に1階から地下1 階までは2 つの階を通ることがわかる。しかし、日本のような数え方では、1 階から地下1 階まで、ひき算をすると2 なのに、1 階しか通過しない。
- 地球の自転は長期的には遅くなっていき、いつか、1 日はなくなってし

まう。これは潮汐力の関係で地球では潮の満ち干のエネルギーが地球の自転を遅くしている。

- 同様の力で月の自転もゆっくりになっていった。しかし、月は既に地球には片方にしか面を向けていない。どんな惑星も月もいつかはそうなる。

3 速さ

ある距離(l)をある時間(t)で物が移動する時にはその物の速さ(v)が

$$v = \frac{l}{t}$$

であると言う。速さの単位は

$$v = \frac{l(m)}{t(s)} \\ \frac{m}{s}$$

である。これは絶対的な位置や長さとは関係ないことを言うため、

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

とも書く。速さはベルリンで走っても、パリで走っても決まるからである。重要なのはベルリンにいるかでも、パリにいるかでもなく、移動した距離、つまり位置の差と、その時にかかった時間である。時間も3時に走り始めたか、4時に走り始めたかは関係なく、30分走ったかという走った時間、つまり時刻の差、が重要である。この Δ はギリシャ語のデルタで、dのことである。これはdifference(差)のことである。

4 加速度

少し難しくなるが、速さの差を考えることができる。ある速さの変化(Δv)がある時間(Δt)で起った時、

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

を加速度と言う。単位は

$$a = \frac{v(\frac{m}{s})}{t(s)} \\ \frac{m}{s^2}$$

である。

速さが10 (km/h) だった車が、10 秒後に20 (km/h) に加速した時、速さが変わると言う。この時は加速があったと言う。その加速の度合い、加速度を上のように書く。

速さは距離と時間との比であった。加速度は速さと時間の比である。

5 ニュートンの法則

5.1 ニュートンの力学の第一法則

さてこれでエネルギーの話の準備ができた。まず物が静止している時のことを考える。なぜそう考えるかの議論はした。

止まっているものは、何もしないと止まっている。これをニュートンの運動の第一法則と言う。

これはもう少し奥があり、実は宇宙空間のような理想的な状態では、動いているものも何もしないと動き続ける。つまり、何もしないと速さは一定ということが観測される。

「外力が加わらないと物体は一定の速度を保つ」ことを慣性の法則と言う、ところで、これはなぜそうなのかは、わ

かっていない。物理学者が慣性の法則とか偉そうに言うのは、まったく何故そうなるかわかっていないけれども、宇宙ではそうなっているのだ。だからこれを、法則と言う。これは神様のチェスの話と同じである。宇宙では飛んでいるものは何もしなければ突然止まったりしない。それは常に観測される。そこでこれを法則と呼ぶ。

つまり速さが一定のものは何もされていない。人間の言葉では速さが0の時は「止まっている」と言う。しかし、それは速さが0というだけで、速さ一定の一種である。時速が10 km で動いている。時速が5 km で動いている。時速が0 km で動いている。ですが、時速が0 km で動いていることを、人間は止まっていると言う。まあ、これは人間の面白さであろう。

5.2 ニュートンの力学の第二法則

何もしないと速さはかわらないというのが、ニュートンの力学の第一法則であった。しかし、何かすると速さが変わります。この速さが変わるというのは、加速度があるということであった。(どうして速さの話をするのかという質問はなかったが、なぜ速さの話をしたのかは、この力の話をしたかったからである。では、なぜ力の話をしたのかはまた後述する。) 物の速さが変わる。止まっているものが動き出すとかいうことがあること。それは力(force) が働いたと言う。ニュートンの力学の第二法則は次である。

$$F = ma$$

ここで、 F は力(Force), m は質量(mass), そして、 a は加速度(acceleration) である。止まっているものが動き出すには、力が必要だというのがこの方程式が言うことの1つであ

る。(実際にはこの方程式はそれだけではなく、もっとたくさんのことを言っているので、不正確な日本語はできるだけやめて、今後はだんだんこの方程式で話をすることにしたい。)

ここで注意するのは、力を与えても、止まっている場合には、力が0になるということである。人間の言葉では、これを力がつりあっているという。たとえば、机の上に物がある場合、重力でひっぱられているが、それを支える力が机から物に働いている。これらがつりあっているから加速度が0になる。つりあっていない場合には速さが変わる。これがニュートンの力学の第二法則の方程式の言うことの一部である。力の単位は、

$$F = m(\text{kg})a\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$
$$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

である。これをニュートン(N) と呼ぶ。

5.3 エネルギーの定義の1つ

ここまでにあったことから、物を動かす、つまり物の速さを変更する力をとれだけの距離およぼしたかでエネルギーが定義される。1 N の力で1 m 物を動かした時に、エネルギーがこの物体に加えられたと言い、その単位はJ (ジュール) と言う。

つまり、ものの速さを変えたり、物を動かすことができる何かはエネルギーがあると言う。

これが最初のエネルギーの定義である。エネルギーはいろいろと変換できるので、今後はもっといろいろと話をしていきたい。

今回はかけあしだったが、このエネルギーの最初の定義までしておく。

5.4 エネルギーについての補足

5.4.1 止まっているコップのエネルギー-1

私がこのようにコップを持っているとする。このコップのエネルギーはどうなのかを考えたい。

人は物を持つと疲れます。それはエネルギーを使っていると言うだろう。しかし物理では止まっているコップが止まったままではエネルギーは変化しない。

動いていないコップは、机の上に置いてあって動かないのと一緒にである。するとこのエネルギーは変化していない。なぜなら動きだしたりしないからだ。

でも人は疲れる。しかし、それは筋肉のしくみとして、重力に逆らうための力を出すためにエネルギーが必要だからである。コップが動いていない限りはコップのエネルギーは変化しない。

5.4.2 止まっているコップのエネルギー-2

止まっているコップのエネルギーは変化してない。しかし、エネルギーがないというわけではない。たとえば、位置のエネルギーがあることもある。なぜなら、手を離すと、このコップは落ちていく。つまり動きだす。そして、もし下にものがあれば、その物を動かすことができる可能性がある。つまり、高いところにあるものは位置のエネルギーを持ちます。

ここで高いとはどういう意味かの話をした。単に高いと言ってもいろいろな意味がある。物理で高いということはどういう意味か議論をした。高いという日本語はあまりにあいまいであり、ほとんど物理的な意味はない。それは低いという言葉も同じ。高いという言葉の意味を本当にわかっているのかは重要であるという話をした。

海の水は太陽からエネルギーを得て蒸発し、位置のエネルギーを持つ。それを使うと水力発電ができるという話をした。

位置のエネルギー(Potential energy) などについてはまた今後話をしていきたい。

またこれらと電気エネルギーとの関係も議論していきたい。

5.4.3 カロリー

エネルギーの単位の他のものにはカロリーというものもある。これは何かなども話をしていきたい。

6 本日の終わりに

私としては、原子の構造や、エネルギーについての感覚、1 J というのはどれだけのエネルギーなのか、などについて少し直感があるようになると嬉しい。今後は、エネルギーを中心に、W (ワット) の話などをしていきたい。

距離と質量と時間から、エネルギーの定義まで駆け足でしたが、まずは最初エネルギーの定義、物を動かすということでの定義まで行けたのはよかった。

物を動かすことができるということを物理では仕事ができると言う。仕事をす能力をエネルギーという。少しでもこの意味がわかると嬉しい。