物理研究班通信

第 275 号

令和 6 年度　10 月例会　（R6.10.12）
村尾，筒井，沢田，小谷，佐藤，尾野田，岡田友，
佐伯，野田，松本佳，本田（報告書担当：本田）

重粒子線がん治療　＜沢田先生＞

10 月 6 日付四国新聞に「重粒子線がん治療 30 年で 4 万人超に拡大」という記事が載っていた。陽子よりも重い粒子を重粒子とよび，治療には炭素イオン線 $^{12}C^{6+}$ などが使われる。体に照射した重粒子は，速度の二乗に反比例して減速していくと，その周辺の原子と核反応を起こし，別の原子になることでがん細胞を破壊する。ちなみに $^{12}C^{6+}$ はメタンガスから作られ，初めは線形加速器で光速の 10%まで加速，その後シンクロトロンで光速の 70%まで加速して治療に用いる。「量子科学技術研究開発機構 QST 病院」の HP では重粒子線治療について YouTube での紹介動画もあった。サイクロトロン運動や原子核反応の実用例として授業の中でも紹介したい。

一般社団法人 粒子線治療推進研究会 HP より

iPad で実験観察　＜筒井先生＞

8 月 7 日に行われた D-PROJECT（デジタル表現研究会）香川夏セミナーにて「iPad で実験しよう」というワークショップを担当された。iPad があれば，いつでも簡単に実験観察ができる。たとえば，水を電気分解した後，陽極と陰極にそれぞれ線香やマッチの火を近づける実験では，スロー動画を撮っておけば，燃え方の違いをゆっくりと何度でも確認できる。また，ルーペと iPad を組み合わせて撮影すると，メダカの卵の中の拍動まで観察できる。生徒が自由に，家や学校でどんどん使って実験観察したことを，他者と共有し議論できるような授業があるとおもしろい。

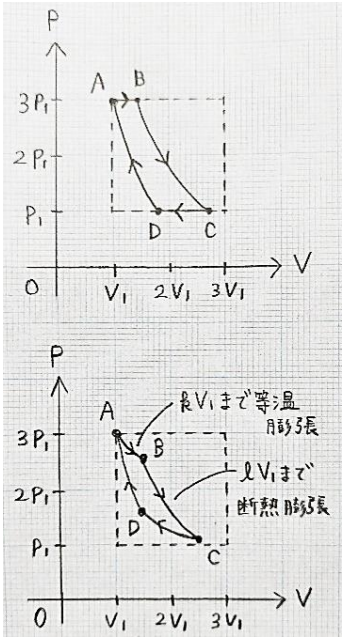
ちなみに，以前の例会で，Wifi デジタル顕微鏡を使ったら「ブラウン運動」が観察できなかった理由が判明した。ブラウン運動はタイムスケールが短すぎて，画像にすると運動が途切れ途切れで記憶されるため，動きを確認できないようだ。肉眼で顕微鏡をのぞいたときは，残像現象でちゃんと見えるらしい。

佐藤先生が iPhone で撮影した紫金山・アトラス彗星↑
10/14(月)18:30 頃　荘内半島の紫雲出山付近にて

熱効率についての考察　＜村尾先生，樋口先生(メールにて)＞

先月の例会で紹介した「定圧変化と断熱変化による熱サイクル（右図）」に関する考察が深まった。このサイクルは，水蒸気ならば「水蒸気カルノーサイクル」と呼ばれ，C→D で水に戻れば，D→A は水の断熱圧縮となるため体積がほとんど変わらず，ほぼ上に立ち上がる（こちらはランキンサイクルと呼ばれる）。問題設定の範囲内での熱効率は 35.6%である。

計算過程で分かった興味深い事実は A 点が右、B 点が左に移動しても熱効率が変わらないことだ。気体は A→B で吸収した熱量に比例して仕事をするからだ。



ここで，問題の設定範囲内における「カルノーサイクル」の熱効率を計算し，比較検討する。計算過程を以下に記す。

体積が kV_1 になるまで等温膨張，ℓV_1 になるまで断熱膨張させる（右図）。

（A→B）　$T_B = T_A$ より $P_B = \frac{P_A}{V_B} V_A = \frac{3P_1}{kV_1} V_1 = \frac{3}{k} P_1$

（B→C）　$P_C = P_B \left(\frac{V_B}{V_C}\right)^\gamma = \frac{3}{k} P_1 \left(\frac{kV_1}{\ell V_1}\right)^\gamma = \frac{3}{k} \left(\frac{k}{\ell}\right)^\gamma P_1$

$\frac{T_C}{T_A}=\frac{P_CV_C}{P_AV_A}=\frac{\frac{3}{k}(\frac{k}{\ell})^{\gamma}P_1\ell V_1}{3P_1V_1}=(\frac{k}{\ell})^{\gamma-1}$

熱効率は　$\eta=1-\frac{T_C}{T_A}$　なので η の最大値は　$\frac{k}{\ell}$　が最小値となるときである。

（条件）$P_C \geqq P_1$ より　$\frac{3}{k}(\frac{k}{\ell})^{\gamma} \geqq 1 \rightarrow \frac{k}{\ell} \geqq (\frac{k}{3})^{\frac{1}{\gamma}}$　B 点は A 点より右にあるので k は 1 より大きい。

$\frac{k}{\ell} > (\frac{1}{3})^{\frac{1}{\gamma}}$　$\therefore (\frac{k}{\ell})^{\gamma-1} > (\frac{1}{3})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = (\frac{1}{3})^{\frac{2}{5}} = 0.644$　（∵ 単原子分子なので $\gamma=\frac{5}{3}$ ）

$\eta = 1-(\frac{k}{\ell})^{\gamma-1} < (1-0.644) = 0.356$　したがって，最大熱効率は 35.6%より小さい。

なんとなく「カルノーサイクルの熱効率が最大」と暗記していたが，この縛りの中では，一高の生徒が見つけた定圧・断熱サイクルが最大と分かった。カルノーサイクルの熱効率は二つの熱源温度で決まり，その温度差内で実現するサイクルの中では最大と言えるが，それ以上の温度差ができるサイクルとの比較では当然負けることもある。ところで，カルノーサイクルの熱効率が最大となるのは B を A に接近させたときである。定圧・断熱サイクルの熱効率は B を A に近接させても変わらず，両者とも A→B と C→D の過程をほとんど踏まない場合，断熱変化だけのほぼ同じ変化と言えるため，35.6%という同じ数字が現れたのだろう。

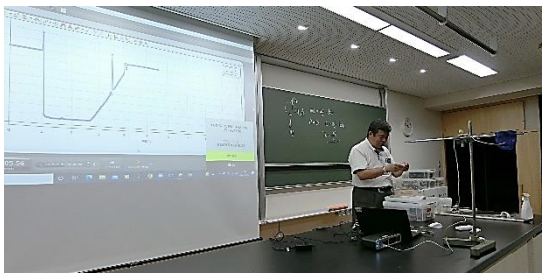
情報提供いろいろ　＜佐伯先生＞

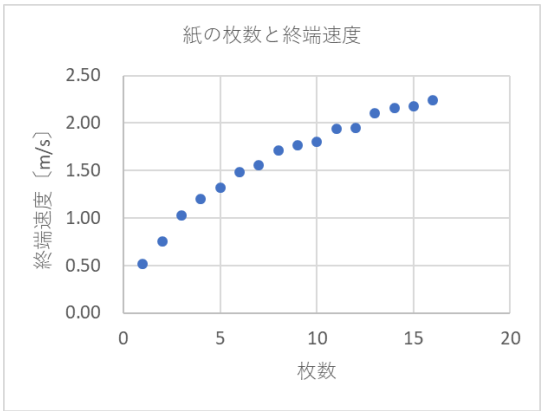
・島津理化から「スマートカート用連結ばね」が販売されている。伸び縮みし，かつ適度な速度で振動できる柔らかいばねは，約 15,000 円でも売れているらしい。だってみんなほしかったもん。

・島津のパソコン計測用ソフトウェア SPRKvue について，これまで Apple と Chrome は無料，Windows は有料だったが，Windows でも Web 版が無料で使用できるようになっている。

・先月の例会で話題となった「電磁気力を媒介する光子は測定できるのか」問題について，静電場なら光子の波長は∞で測定不可だろう。また「新物理学シリーズ 19　場の量子論」にある記述より，「タテ波光子・スカラー光子・ヨコ波光子」の 3 種類の光子があると分かった。どうやら単純ではなさそうだ。

研究授業報告「空気抵抗を受ける物体の運動」　＜小谷先生，佐藤先生，松本佳先生，本田＞





9 月 27 日，本校 SSH 成果報告会にて「空気抵抗を受ける運動」をテーマに，小谷先生が研究授業を行った。

初めに「紙カップ 1 枚と 2 枚重ねた物を同じ高さから同時に落下させた時，どちらが早く地面に着くか」と問い，予想させた後，班毎に実験をして結果を確かめた。

次に「紙カップを，1 枚，2 枚，3 枚，･･･n 枚と順に重ねて落下させると，終端速度 v_t と枚数 n の関係はどのようになるか」と問い，グラフの形状を予想させた上で，距離センサーを用いた実験方法を説明し，1～5 枚で生徒実験を行った。終端速度 $v_t=\frac{mg}{k}$ より，グラフは比例すると予想していた生徒の中には，実験を失敗したと考えた生徒もいた。最後に，教員があらかじめ行った 1～16 枚の実験データ（右図）をスクリーンに映し，まとめをした。

授業展開上の注意点は，2 年生は数学で無理関数を学習していないこと。実験上の注意点は，紙カップがエアコンの風の影響をかなり受け，特に終端速度として測りたい床付近の気流が激しいため，実験にはコツがいることだ。

指導助言では，「物理基礎なので，初めの問いをもっと掘り下げてもよかったのでは？」，「生徒が失敗した後に，やり直したり悩んだりする時間は大切。どうして予想と違う結果になったのか，本当に違う結果になったのか，「教科書とは違う」ということを，自分たちで納得する時間をとることが必要。」との意見があった。これを踏まえ，後日，本田の授業では，終端速度について学習した後，①y-t および v-t グラフを予想→演示実験　②紙カップ 1 枚と 2 枚，どちらが先に落ちるか予想→演示実験　③v_t-m グラフを予想→実験データを見せ，ガイドしながら考察に時間をかけた。理解という点ではスムーズに進んだが，やはり生徒実験にした方が，データ処理含め学ぶことは多いのではないかと感じた。時間がほしい。