

11月の科学あそび分科会

物理で遊ぼう

11月17日（月） イマジナス
参加者：7名 担当：檜枝光太郎

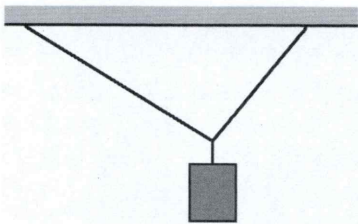
〈はじめに〉

学校で学ぶ物理は唯一の明確な答えがありますが、日々に出会う物理現象はそうではないことがほとんどです。身近な物理現象で、おや？と思うようなものを選んで、物理を楽しむことを試みてみました。

1. パズル

うっかりすると間違ってしまうようなパズルです。『傑作！物理パズル50』(1)を参考にしました。

(1) どっちが切れる？



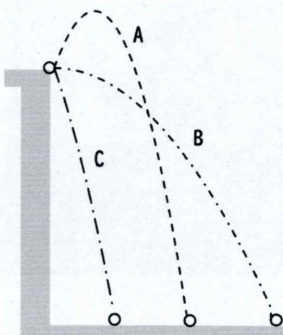
上の図のように一本の紐に重りがぶら下がっています。重りを増やしていくと紐は切れますが、下の選択肢のどれでしょうか？

- ①左側の長いほう
- ②右側の短いほう
- ③確率は五分五分

(2) 崖から投げたボール

崖の端から3個のボールを3方向に投げます。ボールの最初の速さはどれも等しいとすると、地面に衝突するときの速さがいちばん大きいのはどのボールでしょうか？下の選択肢から選んでください。

- ① A
- ② B
- ③ C
- ④ AとC
- ⑤どれも同じ速さ



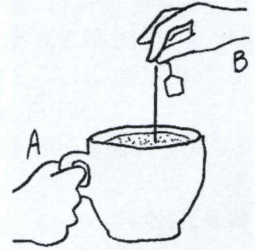
(3) ティーバッグの重さ

Aさんが言いました「ティーバッグを入れたら、カップが少し重くなったよ」。

Bさんが言いました「そんなはずないよ。私は手を離していないし、ティーバッグはカップの底についていないので、糸はぴんと張っているでしょ」。

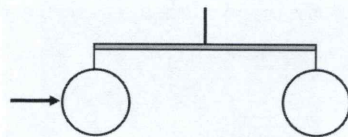
Aさんのいっていることはどちらでしょうか。

- ① 正しい
- ② 正しくない



(4) 風船が割れたら

二つの同じ風船が天びんの両端に吊り下げてバランスしています。左側の風船をパンクさせると天びんはどうなるでしょうか？下の選択肢から選んでください。



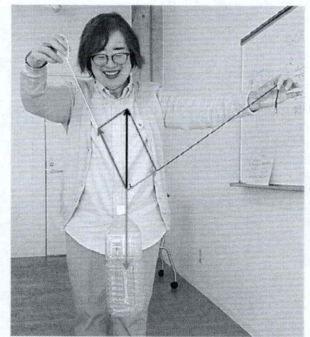
- ① 右側が上がる
- ② 左側が上がる
- ③ 変わらない

【答えと解説】

(1) どっちが切れる？

答：②

解説：右の写真のように、力を並行四辺形を使って2方向に分解すると、短いほうに大きな力がかかることが分かります。水を満たした2Lのペットボトルの首に紐を結わえて、2方向に引っ張ると角度によって力が変わるので、実感できます。



(2) 崖から投げたボール

答：⑤

解説：エネルギーの保存則（この場合は、位置エネルギーと運動エネルギー $(\frac{1}{2} \times m \times v^2, m$ 質量、 v 速さ)の合計が不変)で考えます。最初は、どのボールも同じ高さの崖の上にあるので同じ

位置エネルギーを持っています。方向は違いますが速さは同じなので、運動エネルギーも3個のボールとも同じになります。つまり、3個のボールは同じエネルギーを持っています。

最後はどのボールも同じ高さの地面にあるので、位置エネルギーは同じです。従って、運動エネルギーは同じ、つまり3個のボールは同じ速さになります。

(3) ティーバッグの重さ

答：①

解説：ティーバッグの浮力の分だけ重くなるので、答えは①になります。

実際は、お湯の入ったティーカップは数百gあり、ティーバッグの浮力は数g程度なので、その変化を人間が敏感に感じるのは難しいでしょう。従って、0.01gまで測れる電子秤で測定して重くなることを示しました。

(4) 風船が割れたら

答：②

解説：膨らませた風船は縮もうとするので、風船内の圧力が外の気圧より少しだけ高くなっています。だから、内側の空気の密度が高く、浮力より重力の方が大きくなっています。したがって、風船が割れると軽くなり、左側が上ります。

実際は、図のように天びんでバランスさせるのはかなり難しいです。従って、膨らんだ状態の風船の目方とパンクさせて縮ませた風船の目方を0.01gまで測れる秤で実測して、パンクさせると軽くなることを示しました。

2. ヒトの反応速度の測定

以下の実験をしました。

- ① 2人1組になり、1人は落とし役、1人は受け手になります。
- ② 受け手は30cmの物差しの下端に親指と人差し指で構えます。落とし役は、物差しを予告なく落として、受け手が物差しを捕まえます。捕まえた距離から右の表を用いて、反応時間を記録します。
- ③ 5回繰り返して平均値を出します。
- ④ 役割を交代して同じことを行います。

結果はすべての人が20cm程度で捕まえたので、反応速

距離 cm	時間 秒
0	0
2	0.064
4	0.090
6	0.111
8	0.128
10	0.143
12	0.157
14	0.169
16	0.181
18	0.192
20	0.202
22	0.212
24	0.221
26	0.230
28	0.239
30	0.247
32	0.256

度は0.2秒程度でした。

表は次のように計算しました。地球上の自由落下の距離 x は初速ゼロの場合は、下の式で与えられます：

$$x = \frac{1}{2}gt^2$$

(g : 重力加速度、 t 時間)

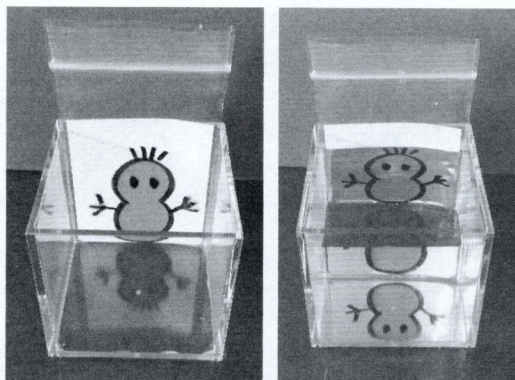
時間は、上式を変形した次式で計算しました。

$$t = \sqrt{2x/g}$$

注：落下距離ではなく時間で目盛った物差しを作ると反応時間が直接測れます (2の32頁)。

3. 見えない理由

紙に絵を描きポリ袋に入れ、ポリ袋の外側に絵の輪郭を描き、透明な容器に入れます (左の写真)。容器に水を入れると、右の写真のように紙に書いた絵は見えなくなりますが、ポリ袋の外側の輪郭線は消えません。同時にポリ袋が鏡のように見えます (全反射しています)。絵が見えなくなる現象を全反射で説明していることがあります、それは間違いです。全反射は、大きな屈折率の物質から小さな屈折率の物質に光が進む場合にのみ起こります。屈折率は、空気：1.00、水：1.33、ポリエチレン：1.5なので、最も屈折率が小さい空気中の絵から出た光が全反射することはありません (3)。絵から出た光は、空気⇒ポリエチレン⇒水⇒空気と進みます。ポリエチレン⇒水は、屈折率大から小ですが、全反射しないことを後で説明します。



水なし

水あり

境界面で屈折の法則を用いて計算すれば、光の進路を示すことができます。入射角を θ_1 、屈折角を θ_2 、屈折率を n_1 、 n_2 とすると

$$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = n_2 / n_1$$

なります。上記の屈折率を用いて計算した結果

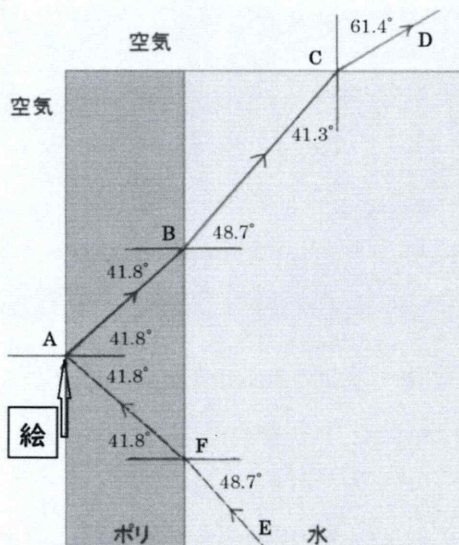
を下の図に示しました。なお、全反射の臨界角（屈折率の高い物質から低い物質へ光が入射する際、屈折角が 90° となる（光が境界面に沿って進む）最小の入射角）の計算値は以下です：水⇒空気 48.8° 、ポリエチレン⇒空気 41.8° 、ポリエチレン⇒水 62.5° 。

絵から出た光が、 90° よりわずかに小さい入射角でポリエチレンに入射し、A-B-C-Dと進みます。入射角が小さくなればDよりも下に出てきます。従って、C-Dより上から見ると絵から出た光は見えません。これが絵が見えなくなる理由です。

図のBで屈折率大（ポリエチレン）から小（水）へ進むので、全反射するかどうか検討します。図から明らかなように、空気⇒ポリエチレン境界面の屈折角の最大値は臨界角の 41.8° で、ポリエチレン⇒水境界面の最大入射角も 41.8° です。これはポリエチレン⇒水の臨界角の 62.5° より小さいので全反射は起こりません。

ポリエチレンの右側にある水から来る光について考えてみます。図のE-F-Aのように進んできた光のA点の入射角が全反射臨界角 41.8° よりわずかに大きければAで全反射することになります。E-Fより下からAに来る光は臨界角よりも大きな角度で入射するので、ポリエチレン-空気の境界面で全反射して、A-B-Cより上を通って空気中に出ます。上方に出てくる光は容器の底の方から来るので、容器の底の色によって全反射の色が変わります。底が透明な容器の場合、容器を置く台の色によって全反射の色が変わるのが良く分かります。白い台の上だと鏡のように見ていかにも全反射ですが、黒い台の上だと灰色になり全反射の感じがなくなります。

結論は、「絵が見えなくなる現象と、同時に



見える全反射は、二つの別な現象」ということです。

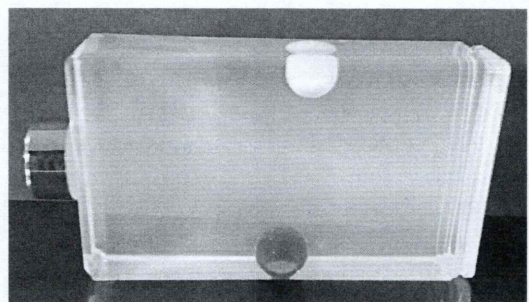
4. 乾電池で蛍光灯がピカリ！

コンデンサーの実験をしました（4の164頁を参考にしました）。コンデンサーの電荷（Q）、電圧（V）、静電容量（C）の関係は、 $Q=C \times V$ です。並行平板コンデンサーの静電容量は電極間の距離に反比例するので、充電した後に電源を切り離して電極間の距離を拡げれば静電容量は減少します。例えば、電極の距離を100倍に広げれば、静電容量は1/100になります。この間、電荷は変わらないので、電圧は100倍になります。このことを使えば、1.5Vの乾電池で充電しても高電圧を作ることができて、蛍光灯を一瞬ピカリとさせることができます。実験は以下のようにしました。

- ① お菓子缶の塗装はとでも薄くて良い絶縁体（塗装がはがれていなければ）なので、その上にアルミ板を密着させて並行平板コンデンサーにしました。
- ② 乾電池（1.5V）で充電して、乾電池を切り離して、アルミ板をお菓子缶の上に持ち上げて電極間の距離を拡げます。
- ③ アルミ板に蛍光灯を近づけると一瞬ピカリと光ります。弱い発光なので、かなり暗い条件でないと見えません。イマジナスの部屋は暗幕が無いので明るく、残念ながら見えませんでした。

5. 加速度運動

水で満たした容器の中にビー玉（下、青）と発泡スチロール球（上、白）を入れて実験道具を作ってもらいました。その道具を使って以下の観察をしました。



- ① 容器を左側（←）に加速度運動（素早く動かす）すると、ビー玉はどちら側に動くでしょうか？下の選択肢から選んでください。
左側（←）
右側（→）
動かない
- ② 発泡スチロール球はどちら側に動くでしょ

