



目的

弾丸の初速をほぼ一定で発射する模型銃を開発した。放物運動に関する多くの実験を誰もが知っている銃を使用して行うことができ、学習した法則の正しさを実験を通して確認することができる。そのような実験として

- A：弾丸の初速を求め、実証する実験
 - B：モンキーハンティング実験
 - C：放物すだれの作製
 - D：花火がなぜ球形に開くのかを説明する実験
- などがある。

今回はA：「弾丸の初速を求め、実証する実験」を中心に取り上げるが、もしこの実験に成功すれば、放物運動はもちろん、力学的エネルギー保存則、運動量保存則など力学に関する重要な法則が、標的の鈴に弾丸を命中したことで実証されたことになる。

さらに、直接測定できないような事象でも「人間の知恵、創意、工夫」で間接的に知ることができるということを生徒に理解させることができる。

概要

A：弾丸の初速を求め、実証する実験

模型銃から発射された弾丸を油粘土の振り子に命中させ、その最大振幅角から初速を求める。その初速で銃口より2m先につり下げられた標的の鈴に命中させる。鈴を下げる糸の長さを生徒に計算させる。もし命中すれば、これに関する物理法則がすべて正しいという証明方法を採用。教室内の黒板上で行う実験装置は次の組み合わせからなる（写真1）。

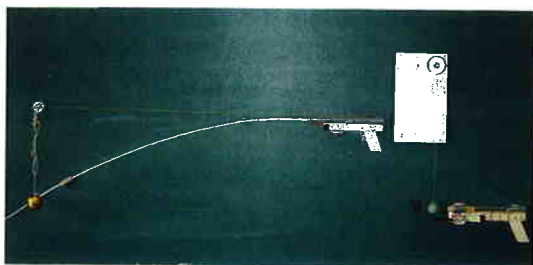


写真1 弾丸の初速を求め、実証する実験装置全体

A I：輪ゴムを利用して一定の初速で弾丸を打ち出せる模型銃（写真2）。

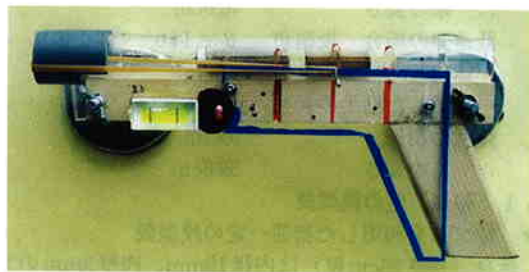


写真2

A II：水系を使用した照準器、標的となる鈴からなる弾丸の初速測定板（写真3）。

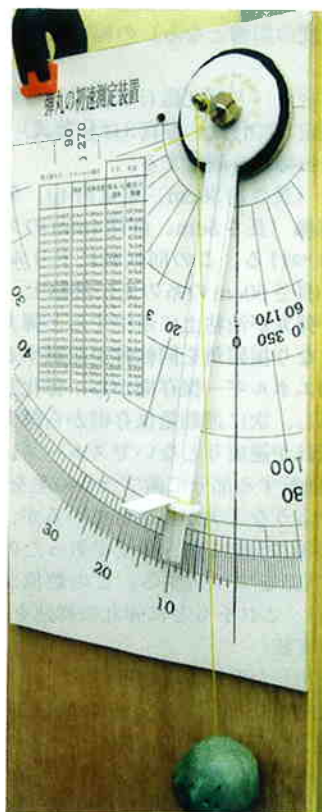


写真3
実験机上の
速度測定板

実験例（弾丸の質量10.4g、振り子の長さ50cm、粘土100gの場合）

弾丸の初速と2m先から鈴を下げる糸の長さ	
高速弾の場合 振幅角	$\theta = 20.5^\circ$ （補正值）
一体化した粘土の上昇	3.2cm
一体化した粘土の初速	0.79m/s
弾丸の初速	8.36m/s
∴ 糸の長さ	28.0cm
中速弾の場合 振幅角	$\theta = 17.0^\circ$ （補正值）
一体化した粘土の上昇	2.2cm
一体化した粘土の初速	0.65m/s
弾丸の初速	6.95m/s
∴ 糸の長さ	40.6cm
低速弾の場合 振幅角	$\theta = 14.0^\circ$ （補正值）
一体化した粘土の上昇	1.5cm
一体化した粘土の初速	0.54m/s
弾丸の初速	5.73m/s
∴ 糸の長さ	59.8cm

A I：初速一定の模型銃

★ 輪ゴムを利用した初速一定の模型銃

銃身（長さ25cm位）は内径19mm、肉厚3mmの亚克力パイプを用い、弾丸の打ち出しには巾5mmの輪ゴム（No.180）の弾性力を利用する。弾丸は直径18mm、長さ約5cm、先端に針金を差し込んだバルサの丸棒。輪ゴムの伸びが一定となる場所から弾丸を打ち出すと、時速20km～30km位で、 $\pm 1\text{km/h}$ 以内（振幅には0.5度の影響となる）の幅で収まるほどに安定している。

A II：初速測定板（大型丸磁石を使用して装置を黒板上に固定して行う。写真3は移動式）

★ 振り子の振幅角を測定する。

この回転針（長さ約30cm、重量約4g、発泡スチレン製）を回転軸（長さ5cm、直径4mmのステンレスネジ）にとりつける。この回転軸にドリルで1.5mmの穴をあけ、長さ50cmの糸の先に油粘土（500g）をとりつける。弾丸が油粘土に命中すると弾丸と一体化した振り子となり振幅角を回転針が記録する。この振幅角と力学的エネルギー保存則から一体化した振り子の速度を逆算し、次に運動量保存則から弾丸の初速を求める。回転針が逆戻りしないでスムーズに動くようにするため、回転する部分に歯ブラシの毛を埋め込み、直接触れないような工夫が施されているが、摩擦などによる振幅の減少分は約0.5度位であったので、表示された角度に0.5をプラスする。この数値が振幅角である（補正值）。これをもとに弾丸の初速を計算する。

A III：初速の実証

★ 水糸を使用した照準器と標的の鈴

算出された初速を実証する方法は水平に向けられた銃身の延長線上、銃口より2m先につり下げられた標的の鈴に命中させる。生徒は銃を下げる糸の長さを計算する。照準の方法は水糸を銃の（真上から見て）後部外側の中央点から銃身に沿って、銃身に平行に2m先まで伸ばし、そこから標的の鈴を下げ、命中させる。

次に発射角度を変えた場合、結果を予測させ、実験を行い、発射角度に関係ないことを確認することで、物体の運動の本質がよく理解できる。

B：モンキーハンティング実験

様々なタイプのモンキーハンティング装置が工夫されているが、前述の模型銃から固定用の磁石を取り外し、蝶ネジで鉄製の支柱（ハンク）に固定した移動式にしてどこでも実験が行えるようにした（写真4）。この模型銃で（2m位の距離なら外れることはないのだが…）3m位の離れた距離で実験を行うと射撃が下手だと命中しないことがある。臨場感・緊張感があり、成功すると効果は絶大である。

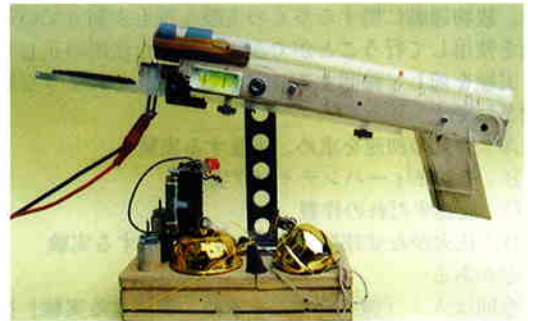


写真4 移動式に改造した模型銃

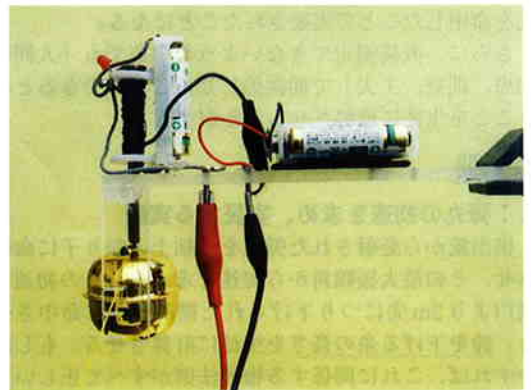


写真5 電磁石と標的の鈴

電磁石には3Vの電圧（単3電池2本）をかける。通電を確認するため回路に発光ダイオードを入れると非常に便利である。それには電磁石とダイオードを並列にして1.5Vの電圧（単3電池1本）を別にかけるとよい（写真5）。

スイッチは銃口付近の写真9で分かるように、銅板を三つ折りにしてその一片で台に固定し、他の二片で裸のエナメル線を挟むようにする。飛び出す弾丸がエナメル線をはずす構造が簡単で、確実である。

C：放物すだれの作成

装置：H型のアルミアングルを用いて銃身とのステンレスパイプ（長さ1.8m、直径13mm）が平行になるように固定する。これを磁石で黒板に固定し、真横から見るとステンレスパイプは銃身の延長方向を示すようにする。クリップを利用して標的の鈴を下げる横枝（写真6）を作り、ステンレスパイプ上に等間隔に置く。

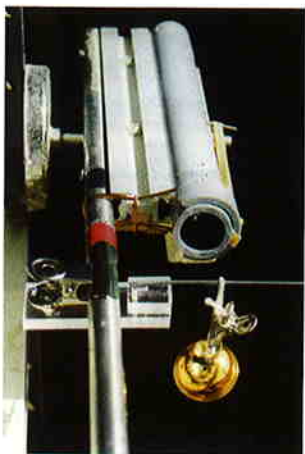


写真6

方法：横枝から鈴をつり下げる。命中したら鈴を横にずらしながら放物すだれを作る。鈴をつり下げる糸の長さが1：4：9：16：…の比になり、放物運動には規則性があることが分かる。

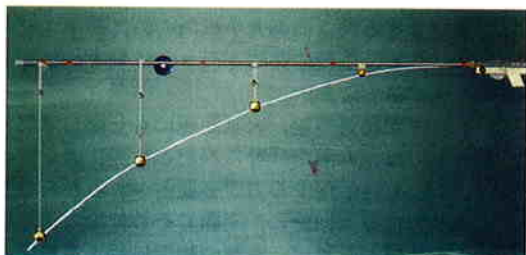


写真7 H型アルミアングルでステンレスパイプと平行に固定された銃と横枝から吊下げられた鈴

D：花火がなぜ球形に開くのかを説明する実験

装置：放物すだれの装置をそのまま使用する。先端の横枝から鈴をつり下げる。その鈴に何度も命中させ弾丸の初速が一定であることを確認する。

方法：初速が一定なので銃を水平に、上に、下に向けて発射しても糸の長さが同じなら必ず命中する。どの角度で打ち出しても弾丸は運動中、鉛直方向に同じ重力の影響（糸の長さが同じ）を受けて放物運動していることが納得できる。これが花火が球形に開く理由である。

教材・教具の製作方法

★ 模型銃

製作のポイントは銃身に平行に巾3mmの滑らかな

直線スリットを作ることだけであるが、卓上電動丸ノコギリに切断砥石（写真8）を取り付けて使用するとよい。スリットを作るには、パイプを木の枠の中に入れてネジなどで固定し、ガイドに沿って移動させる。

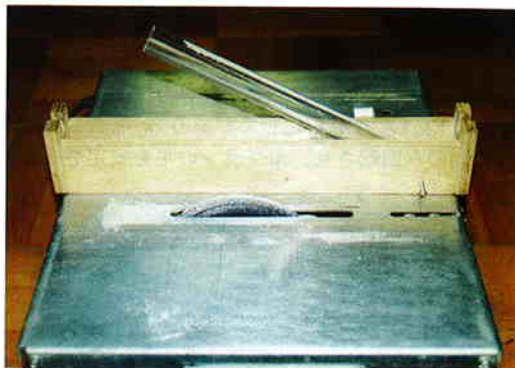


写真8 卓上電動丸ノコギリに切断砥石を取り付ける。

また、アクリルパイプの銃身では何度か弾丸を発射すると衝撃で割れてしまう場合があるので、銃口付近に輪ゴムを引っかける部品を取りつけストッパーの役目を働かせる（写真9）。



写真9 銃口付近

また銃身と木製の銃床が衝撃で外れないようにするためには、ホットボンドなどの接着剤で銃身を銃床に接着し、さらに銃床下部から長さ25mm、直径3mmのねじをアクリルパイプの内壁、弾丸に影響のない所にまで打ち込むことにより完全に固定する。

★ 弾丸

弾丸はバルサ棒（長さ5cm、直径20mm）を削って直径18mm（市販されていないので）に加工し、その先端に鉄ボルト（直径8mm、長さ10mm）を埋めこむ。さらに太さ2mmくらいの釘（自転車のスポークが最適）をボール盤で穴をあけたボルトに差し込む。重量10.5g前後の先端に重心がある弾丸となる。

単に丸棒に釘を差し込んだ弾丸では、油粘土に命中後斜めに下がり（その結果、重心も下がり振り子の長さが長くなったと同じことになる）、合体物の速度が減少し、（振幅角にして約1度分）、弾丸の初速も少な目に測定されてしまう。

★ 回転針の回転部分 (写真10)

摩擦を少なくし、針が逆戻りしないようにするため、測定板と回転針の間に歯ブラシの毛を入れて浮かせる。まず回転針と接触する測定板の部分にラシャ布を張り付ける。次に回転針の回転部分に歯ブラシの毛を埋め込み、エポキシ樹脂で固定する。回転針を測定板に軽く押しつけるために合板で自作の板ネジを作り軽く止める(金属ネジでは一緒に回転してしまい、回転針を押しつける力が変化してしまう)。また、回転針は一方のみ回転させ、歯ブラシの毛を安定させる。

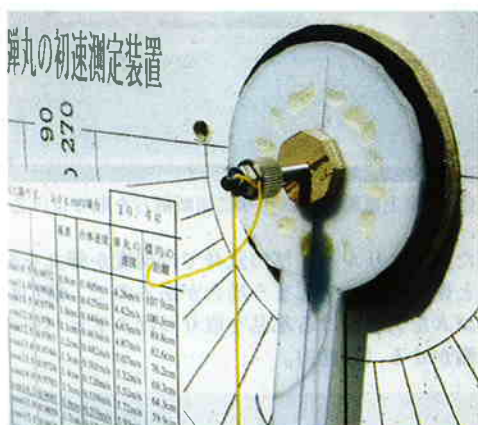


写真10

実践効果

いくつかの学校でこの実験を取り入れた授業を行ってもらい先生方の研修会でも行った。どこでも命中すると「驚きの声と、拍手と、アンコールの声」が一斉に起こった。初速を変えた2度目の実験の時、普段このような計算問題は人任せにする事の多い生徒達が解けそうにもない場合には教わりながらも「自力で下げる糸の長さを計算して求めたい」という、自発的に取り組む姿勢が見られた。

計算したことがその場で再現でき確かめることができること、日常生活と結びついた物理の正しさが実感できることなど、つまり学習の目標、内容、確認方法などが明確であることが普段と違った授業展開になったと思われる。授業後の感想でも「計算通りのことになりこれで物理学を肌で信じられるようになった」「科学の方法が分かった」「人間の知恵は奥深い」などというのが多かった。

その他補遺事項

★ 模型銃の銃身を塩ビパイプ(内径20mm)で作ると丈夫で補強板を必要としない。

★ 最近、玩具を流用した安価で高性能な簡易速度測定器(商品名ピースピー…現在生産中止になっているが、近いうち同性能の商品が売り出される予定)が市販されている。水平放物運動までしか扱えない「物理1A」の授業を行っている多くの学校でも、模型銃の銃口に

簡易速度測定器を取り付け、教師が弾丸の初速を求めれば、生徒はその初速の水平放物運動を同様に命中という方法で学習することができる。

★ 写真11の模型銃を使用すれば斜方投射なども水平放物運動と全く同じ考えかたで解決できることを実験で示すことができる。また、花火がなぜ球形になるかを計算は難しくても、実験と、作図で説明することができ、その原理まで踏み込むことができる。

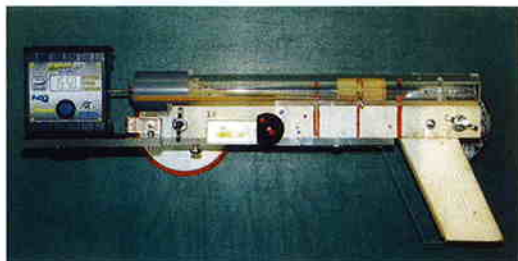


写真11

最後に

この実験は次の点から、是非普及させたい。

- ①多くの物理法則を活用すること。
- ②しかも直接測定不可能な弾丸の初速を間接的な方法で算出し、別な方法で証明するという手法がとられるなどの意外性があること。
- ③装置も輪ゴム、粘土、鈴など身近な材料を利用しており、誰が見ても理解できるシンプルな構造になっていること。
- ④目で確認できる速さの弾丸を標的の鈴に命中させるという単純で、生徒の興味を引きつけやすい初速の証明方法であること。

このテーマが練習問題、入試問題にもしばしば取り上げられるのは、力学全分野にわたる物理法則を理解するだけでなく、活用する力が必要とされるからである。問題が解けると同時に、実験でその理論の正しさを確認する体験があれば、生徒の物理に対する信頼が増し、早い時期に物理観を確立することができる。その後の電気、原子などの分野を学ぶのに役立つものと確信する。

参考文献

同じテーマであるが年ごとに少しずつ改良、工夫が加えられている。

平成3年度全国理科教育大会(愛知大会)

「初速度一定の水平放物運動」

平成4年度全国理科教育大会(山口大会)

「慣性の法則と真上に投げる運動」

平成5年度全国理科教育大会(福岡大会)

「究極のモンキーハンティング装置」

平成6年度全国理科教育大会(北海道大会)

「弾丸の初速を検証する実験装置」

平成7年度全国理科教育大会(滋賀大会)

「放水から放物運動の原理を知る」