

生徒実験：水平投射運動

【1】目的

水平投射運動が自由落下運動と水平方向への等速運動の合成であることを理解し、等加速度運動の式の取り扱いに慣れる。

【2】原理

物体を水平方向に投げ出したとき物体が行なう運動を水平投射運動という。水平投射運動は水平方向の等速運動と、鉛直方向への自由落下運動を合成した運動と見ることができる。

水平方向に x 軸、鉛直下方に y 軸をとり、原点から x 軸に沿って初速 v_0 で物体を投げ出すとする。重力加速度を g とすると、時刻 t における物体の速度成分および位置座標は、等加速度運動の式から

	x方向		y方向
速度	$v_x = v_0 \dots\dots(1)$		$v_y = g t \dots\dots(2)$
座標	$x = v_0 t \dots\dots(3)$		$y = \frac{1}{2} g t^2 \dots\dots(4)$

と書ける。

投げられた物体が原点より h だけ下方の床に達する時刻を T とすると、式(4)より

$$T = \sqrt{\frac{2h}{g}} \dots\dots(5)$$

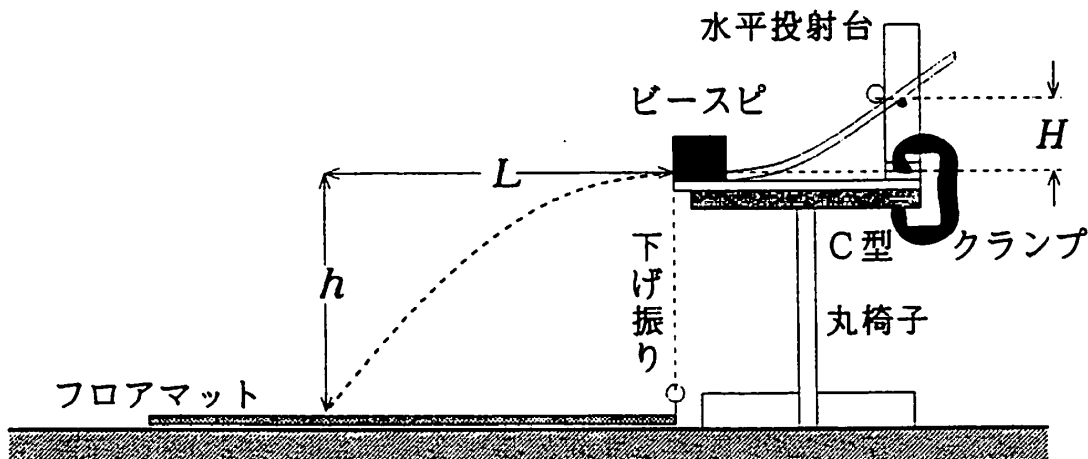
を得る。この間に水平方向に運動する距離、すなわち水平到達距離 L は式(3)より

$$L = v_0 T = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \dots\dots(6)$$

となる。実験によって v_0 および h を測定すれば、式(6)が成り立っていることを確認することができる。

【3】器具

水平投射台、C型クランプ、実験室用丸椅子、小球、速度測定器「ビースピ」フロアマット、ものさし、下げ振り、ボトルキャップ、電卓、セロテープ



【4】作業

- ①まず速度測定器「ピースピ」の操作に慣れる。時刻表示モードになっているときは青いボタンを数秒押し続けると単位表示[km/h]が点滅し、速度測定モードになる。このときコの字型の足の間を物体が通過するとその速度が時速で表示される。指などを通過させて計測されることを確かめる。リセットは青いボタンを軽く押す。
- ②ピースピの測定モードは、青いボタンを数秒押し続けることに、時刻表示→速度測定→ラップタイム→積算ラップタイム→時刻表示、と切り替わる。速度測定時は単位表示が[km/h]になっていることを確かめること。
- ③図のように、ピースピを水平投射台の端にレールをまたぐように置き、セロテープで固定する。
- ④実験机の上に丸椅子を置き、その上に水平投射台を組み立ててC型クランプで固定する。
- ⑤投射台の先端から下げ振りを垂らし、フロアマットの黒い対角線の一端をそれに合わせる。
- ⑥投射台の任意の高さから小球を転がし、落下地点がマットの対角線上に来るようにマットの位置を調節する。このとき④で合わせた端がずれないように注意する。
- ⑦以後、投射台を取り付けた丸椅子を回転させないように注意し、ずれてしまったときは④⑥の操作をやり直す。
- ⑧レールの上端からマットの上面までの高さ h をものさしで測定する。
- ⑨高さ h に対する滞空時間 T を式(5)により求める。重力加速度は $g = 9.8 [\text{m/s}^2]$ とする。
- ⑩ピースピの表示をリセットし00.00[km/h]とする。
- ⑪投射台のレールを一番下の釘にかけ、レール上に置いた小球の下端が釘と同じ高さになるように指で支え、静かに小球を放す。ピースピの示す初速度を読みとり、即座に秒速に換算する。この値が v_0 である。
- ⑫式(6)により水平到達距離 L を計算し、マット上の落下位置を予想する。その位置にボトルキャップを置き、指でしっかり固定しておく。
- ⑬ピースピの表示をリセットし00.00[km/h]とする。
- ⑭⑨と同じ位置から小球を静かに放し、落下予想位置のキャップに命中するかどうかを確認する。同時にピースピの示す初速度を読みとり⑨とほぼ同じであったことを確認する。大きく違うときはやり直す。
- ⑮レールをかける釘の位置を変えて v_0 を変化させ、④～⑭の実験をくり返す。
- ⑯釘の高さ H は下から5、10、15、20[cm]である。
- ⑰丸椅子の高さを変えて h を変化させ④～⑮の実験をくり返す。

【5】考察

- ①それぞれの測定、予想、実験結果を表にまとめよ。
- ②命中しない実験があった場合、その原因を考え、計算を再チェックし、実験をやりなおしてみる。その過程を報告せよ。
- ③この実験からどのようなことが確認できたか。
- ④釘の高さ H （レール上の落差）と初速度 v_0 の間にはどんな関係があるか。 H を横軸に、 v_0 や v_0^2 を縦軸にとったグラフを作り、比較して結論を導け。

ビースピを使った水平投射の実験

湘南台高校・山本明利

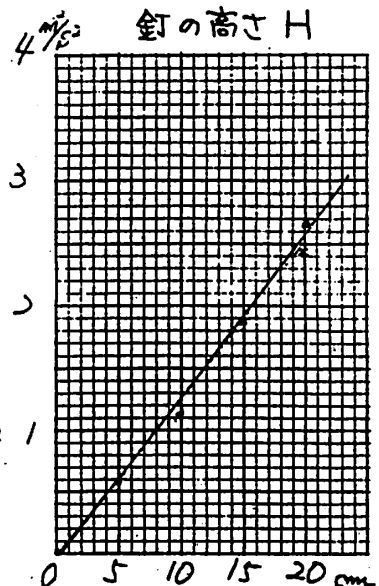
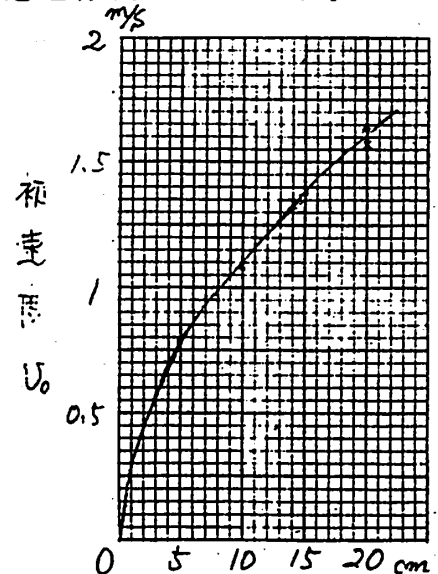
ビースピを利用した実験は、YPCでも早くから取り組まれてきましたし、白百合学園の馬目秀夫先生や駒場東邦の井上賢先生らの実践報告もすでにあります。いずれもビースピが優れた実験器具であるとの認識で一致しています。

一方、先日YPC例会で座間高の水戸慶文先生のが紹介された「的当て」でショーアップした水平投射デモにヒントを得て、楽しい「的当て式水平投射」の生徒実験を試みたところ好評だったのでご紹介します。実験はやはりゲーム感覚の喜びがあった方がいいですね。実験装置が手軽で作りやすいのもウリです。

実験の要領は別紙のとおり。斜面を転がしたビー玉を水平に投射する際、初速をビースピで測定します。これと投射台の高さから落下位置を計算で予想し、そこにPETボトルのキャップを置いて、飛んでくるビー玉を受けるといいます。机の面の保護もかねて、落下予想地点に沿って直線を描いたマット（段ボールで十分）を机上に敷き、計算で求めた落下予想位置にキャップを置いて指で支えます。玉の来る方向に向けてちょっと傾けておくのがコツです。結果はほぼ百発百中で、ビー玉がキャップにぴたりとはまるので歓声があちぎります。

事のついでに、斜面の高さと投射速度の関係をグラフに描かせて v^2 と H の比例関係を暗示しました。この時点でエネルギーはまだ未習ですので伏線として考察に加えました。生徒の測定したデータと、生徒の感想を添えておきます。

実験回数	1	2	3	4	5	6	7	8
床からの高さ h [m]	0.47	0.47	0.47	0.47	0.36	0.36	0.36	0.36
滞空時間 T [s]	★0.31	0.31	0.31	0.31	0.27	0.27	0.27	0.27
釘の高さ H [cm]	5.00	10.0	15.0	20.0	5.00	10.0	15.0	20.0
初速度 v_0 [km/h]	2.76	3.87	4.93	5.86	2.78	3.84	4.87	5.61
初速度 v_0 [m/s]	0.77	1.08	1.37	1.63	0.77	1.07	1.35	1.56
水平到達距離 L [m]★	0.24	0.34	0.43	0.51	0.21	0.29	0.37	0.42
命中したかどうか	○	○	○	○	○	○	○	○



釘の高さ H

感想 今回の実験は3人だったのですが、そのうち2人が計算して、他の人はそれだけいすとかおぼしたりして、Hがこうはやくできた。それですごいと思えたのは、水平到達距離が伸びてしまうというところである。それだけ、" " の所に的をおく。そしてビー玉をはなすと、命中！これはすごい!! と思った。それで僕も同じ高さのHから20cmの所にビー玉をはなすと、このあたりかな? と、思った。このあたりから、これはかたがと命中!!! 自分でビッパリ!

測定結果

★印は式から計算で求め、予想する。

実験回数	1	2	3	4	5	6	7	8
床からの高さ h [m]								
滞空時間 T [s] ★								
釘の高さ H [cm]								
初速度 v_0 [km/h]								
初速度 v_0 [m/s]								
水平到達距離 L [m] ★								
命中したかどうか								

