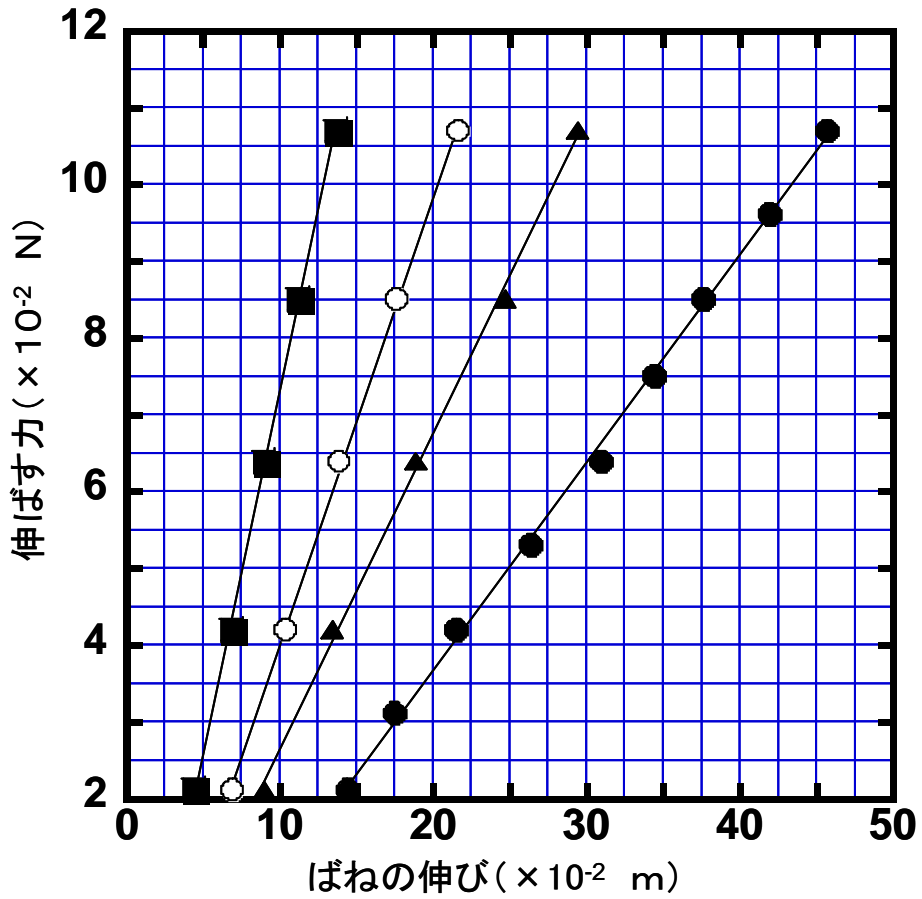


チャレンジ番号	氏 名

課題 1-2 (1)



初期巻き数(n_0) 31 巻き

点

課題 1-2 (2)

	巻き数 (整数)	ばね定数 (N/m)
n_0	31	0.27
$n_0 \times 2/3$ 程度	20	0.42
$n_0 \times 1/2$ 程度	15	0.58
$n_0 \times 1/3$ 程度	10	0.90

点

チャレンジ番号	氏 名

課題 1-2 (3)

ばね定数は、 $k_{n_0} = 0.27$, $k_{n_0 \times 2/3} = 0.42$, $k_{n_0 \times 1/2} = 0.58$, $k_{n_0 \times 1/3} = 0.90$ と測定されたので、
 $k_{n_0} / k_{n_0 \times 2/3} = 0.64 \approx 2/3$, $k_{n_0} / k_{n_0 \times 1/2} = 0.47 \approx 1/2$, $k_{n_0} / k_{n_0 \times 1/3} = 0.30 \approx 1/3$ と近似されると
 考えられる。したがって、 $1/k_{n_0 \times 2/3} + 1/k_{n_0 \times 1/3} = (2/3 + 1/3)1/k_{n_0} = 1/k_{n_0}$

$$1/k_{n_0 \times 1/2} + 1/k_{n_0 \times 1/2} = 1/k_{n_0}$$

点

課題 2-2 (1)

31 巻き、20 巻き、15 巻き、10 巻きの各ばね定数より、各巻き数のばねに対する 1 巻き当りのばね定数は、それぞれ 8.4 (N/m)、8.4 (N/m)、8.7 (N/m)、9.0 (N/m) となり、平均をとると 8.6 (N/m) となる。

点

チャレンジ番号	氏 名

課題 2-2 (2)

測定値	4.4 cm	4.1 cm	4.0 cm	3.9 cm	3.7 cm	3.6 cm	3.5 cm	3.3 cm
計算値	3.7 cm	3.5 cm	3.4 cm	3.2 cm	3.0 cm	2.9 cm	2.7 cm	2.6 cm

計算方法
ばね全体の質量と巻き数より、1巻き当りのばねの質量を算出する。対象とする1巻きのばねより下のばねの重力と1巻き当りのばね定数よりばねの伸びを求める。ばねの自然長などを考慮していないので測定値とのずれが生ずる。

点

課題 2-4 (1)

	× 4/4 巻き	× 3/4 巻き	× 2/4 巻き	× 1/4 巻き
質量 m	0.034 (kg)	0.025 (kg)	0.017 (kg)	0.0084 (kg)
ばね定数 k	0.36 (N/m)	0.48 (N/m)	0.72 (N/m)	1.4 (N/m)
m/k	0.094 (s ²)	0.052 (s ²)	0.024 (s ²)	0.0060 (s ²)

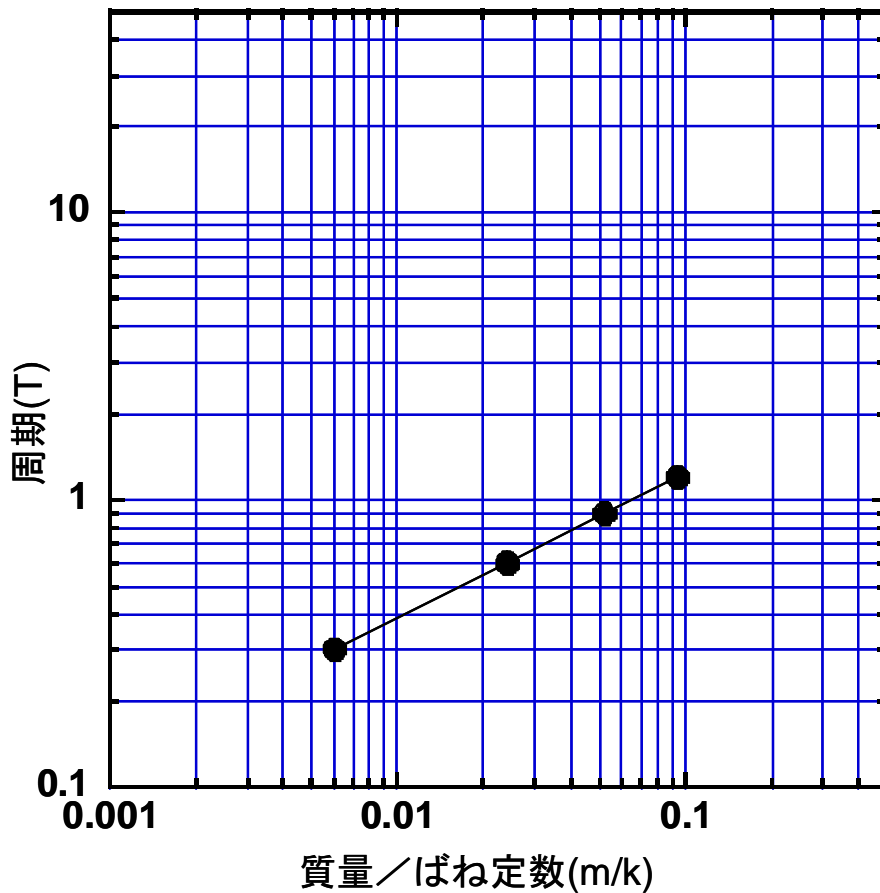
点

チャレンジ番号	氏 名

課題 2-4 (2)

	× 4/4 巻き	× 3/4 巻き	× 2/4 巻き	× 1/4 巻き
周期 T	1.20 秒	0.89 秒	0.60 秒	0.30 秒

課題 2-4 (3)



点

説明 A と B を定数とし、 $T = A(m/k)^B$ で表されるとすると、
 $\log T = \log A + B \log(m/k)$ となり、両対数グラフ上の直線の傾きが B となる。実験点をプロットすることにより、直線の傾きから、B がほぼ 0.5 になり、 $T \propto \sqrt{m/k}$ になることが知れる。

点

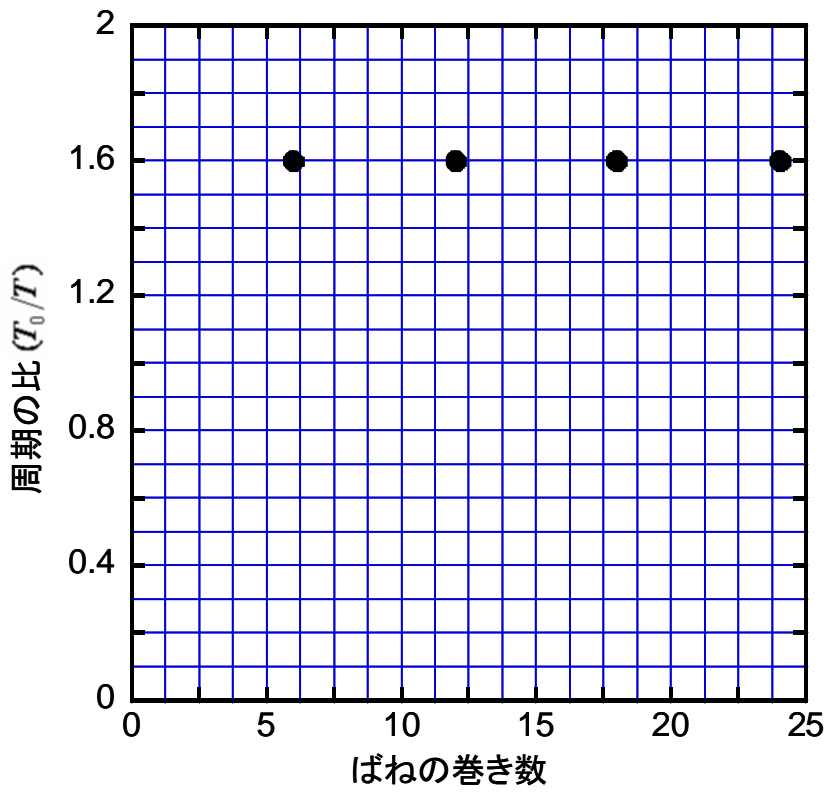
チャレンジ番号	氏 名

課題 2-4 (4)

フックの法則により、物体には変位 x の大きさに比例する復元力がはたらき、物体は単振動をする。単振動の角振動数を ω とすると、 $m_0\omega^2 = k_0$ より $\omega = \sqrt{k_0/m_0}$ 、
従って、周期は $T_0 = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{m_0/k_0}$ で表される。

課題 2-4 (5)

点



$$T = \frac{T_0}{1.6} = \frac{2\pi}{1.6} \sqrt{\frac{m}{k}} = 3.9 \sqrt{\frac{m}{k}} \approx 4 \sqrt{\frac{m}{k}}$$

点

チャレンジ番号	氏 名

課題 3-1

測定データ 1 : 位置エネルギーの基準からの高さが 10cm のときの、水平飛行距離 S の測定結果 :

1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均
415	410	420	414	415	415 mm

測定データ 2 : 位置エネルギーの基準からの高さが 8cm のときの、水平飛行距離 S の測定結果 :

1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均
370	365	368	368	367	368 mm

今回測定した、位置エネルギーの基準からの高さ、水平飛行距離 S 、自由落下距離 H の間にどのような関係式が成り立つか、力学的エネルギーの保存則を用いて考察せよ。またその結論を測定値と比較して議論せよ

$H = 420 \text{ mm}$ なので、自由落下時間を t とすると、 $\frac{1}{2}gt^2 = H$ より、

$$t = \sqrt{2H/g} = 0.293 \text{ s}$$

つまり、自由落下時間は一定となる。一方、力学的エネルギー保存則から、

$$mgh = \frac{1}{2}mU^2$$

なので、 U を求めると、

$$U = \sqrt{2gh}$$

$U = S/t$ より、

$$S = U \cdot t = \sqrt{2gh} \sqrt{2H/g} = 2\sqrt{hH}$$

高さ $h = 10 \text{ cm}$ のとき、水平移動距離 $S = 2\sqrt{Hh} \approx 410 \text{ mm}$ となる。

高さ $h = 8 \text{ cm}$ のとき、水平移動距離 $S = 2\sqrt{Hh} \approx 367 \text{ mm}$ となる。

どちらも、誤差の範囲内で測定値と一致している。

点

チャレンジ番号	氏 名

課題 3-2

ビー玉 (大)、ビー玉 (小)、鉄球、円環を、同じ高さからガイドレール上を転がしたときの、水平飛行距離の測定値。

	1 回目	2 回目	3 回目	平均値
ビー玉 (大)	375	376	376	376 mm
ビー玉 (小)	375	370	365	370
鉄球	385	380	378	381
円環	303	305	305	304

ガイドレール上を転がした場合の位置エネルギーと運動エネルギーの関係を考察せよ。転がす物体の種類によって違いが見られた場合その理由を考察せよ。

実験条件：斜面の高低差 150 mm - 6 mm = 144 mm

エネルギー保存則から $\frac{1}{2}mU^2 = mgh$ が成り立つとすると、 $U = \sqrt{2gh} \approx 1.68$ m/s となる。

一方、水平投射の高さ（自由落下距離）は 430 mm より、落下時間は $\sqrt{2H/g} = 0.296$ 秒。以上より、位置エネルギーと水平方向の運動エネルギーで力学的エネルギー保存則が成り立つなら、水平飛行の距離は、

$$S = U \cdot t \approx 497 \text{ mm}$$

となるはずである。これに対して、上記の測定値は、誤差を考えても大きく異なり、一致していない。

次に、この理由を考察する。まず、ビー玉の大きさは大きな作用をしていないので、空気の抵抗などは、この不一致の大きな原因ではないと考えられる。球形の形をしているビー玉と鉄球は似た値を与えているのに対して、円環が大きく異なる水平飛行の距離を与えていることから、この違いは、重さより形状が大きな作用をしていると考えられ、質量の分布の違いが大きな違いを生み出している可能性が高い。このような質量の分布が大きな違いを生み出すエネルギーを考えると、形状により物を同じ速度で回転するのに必要な力が変化するので、回転のエネルギーがこの違いの最も大きな要因と予想できる。

点

チャレンジ番号	氏 名

課題 4-1-1 直線上（一次元）の衝突

水平飛行距離の測定結果

- ・ 同じビー玉どうしの衝突

	1 回目	2 回目	3 回目	平均
標的がない場合	382	380	380	381 mm
標的のビー玉	364	372	365	367
ぶつけたビー玉	100	96	98	98

- ・ 結果について考察せよ。

ぶつけたビー玉は、衝突後いったん静止し、その後、回転を続けて飛び出すように見える。つまり前問より、ぶつけたビー玉の水平飛行は回転のエネルギーによって起こっていると考えられるので、無視する。飛行距離は速さに比例するので、運動量は水平飛行距離に比例し、それより、衝突前後での運動量の比は、水平飛行の距離で考えることができるので、

$$\text{反発係数 } e = 367/381 \approx 0.96$$

となり、1 に近く弾性衝突と見なせる ($e = -(98 - 367)/381 = 0.71$ でも正解)。

- ・ 標的のビー玉にビニールテープを張った場合の衝突

	1 回目	2 回目	3 回目	平均
標的がない場合	386	384	386	385 mm
標的のビー玉	240	242	244	242
ぶつけたビー玉	152	154	152	153

・ この測定結果は、前回のビニールテープの張っていない衝突と大きく違う。その理由について考察せよ。また今回の衝突において、衝突前後で、全体の運動量および運動エネルギーはどのように変化したか。

ビニールテープの重さを無視すると、

$$\text{運動量の比 } 385/(242+153) \approx 0.97$$

となり、保存していると考えられる。一方、

$$\text{運動エネルギーの比 } 385^2/(242^2+153^2) \approx 1.8$$

となり、これは保存していない。ビニールのため、反発係数は $e = -(153-242)/385 \approx 0.23$ となり、非弾性衝突となるためと考えられる。



チャレンジ番号	氏 名

課題 4-1-2 直線上（一次元）の衝突

水平飛行距離の測定結果

- ・ 小さなビー玉を標的とした衝突

	1 回目	2 回目	3 回目	平均
標的がない場合	384	386	382	384 mm
標的のビー玉	515	530	524	523
ぶつけたビー玉	182	182	180	181

- ・ 結果について考察せよ。

いままで見てきたように、ビー玉の速度 U は、水平飛行距離と比例する。そこで、この問題でも運動量が、水平飛行距離に比例することから、運動量の保存を、水平飛行距離から考えることとする。まず、小さなビー玉と等しい運動量を持つ大きなビー玉があるとする、その飛行距離は、

$$523/2.5 \approx 209 \text{ mm}$$

となる。これから、衝突後の運動量を考えると、 $209+181=390 \text{ mm}$ に比例すると考えられ、この値は、標的がない場合の水平飛行距離 384 mm とほぼ一致している。つまり運動量保存則が成り立っていると考えられる。

次に力学的なエネルギーについて考察する。同様に速度が水平飛行距離に比例するので、

$$523^2/2.5 + 181^2 \approx 377^2$$

となる。つまり、標的がない場合の水平飛行距離 384 mm とほぼ一致しているので、力学的エネルギー保存則が成り立っていると考えられる。

最後に反発係数 e について考える。同様に速度が水平飛行距離に比例するので、

$$e = -(181 - 523)/384 \approx 0.89$$

弾性衝突に近い値を与えていることがわかる。

点

チャレンジ番号	氏 名

課題 4-2 平面上（二次元）の衝突

課題 4-2-1 大きさ、質量とも同じビー玉の衝突

衝突前後のビー玉の運動量ベクトルを下のグラフ用紙に示すことによって、運動量保存則について議論せよ。

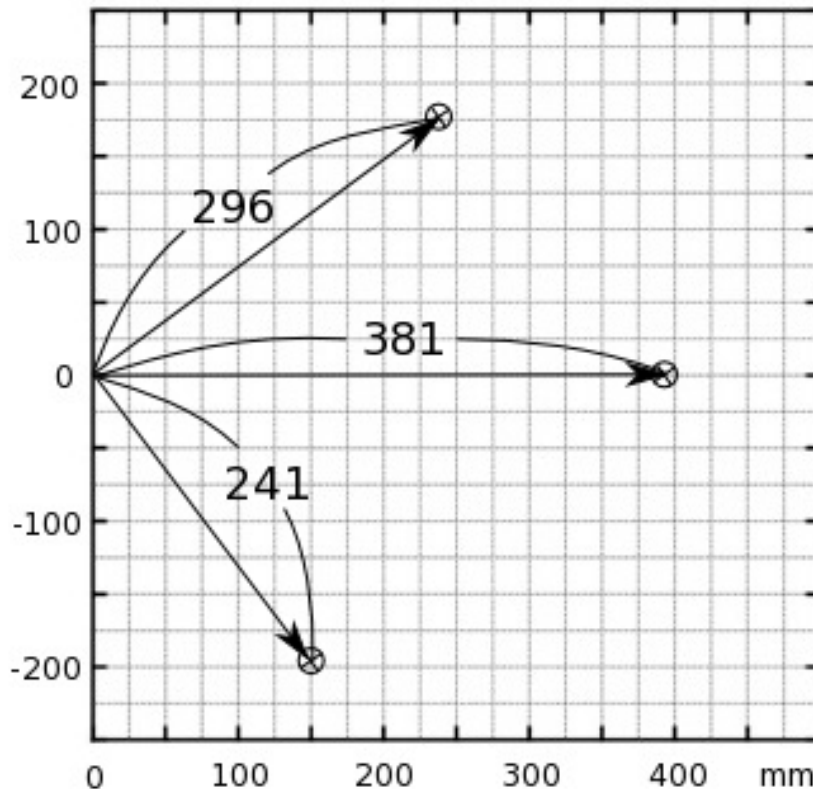
ビー玉の速さは飛行距離に比例するので、以下では飛行距離を用いて保存則について議論する。

まず、衝突をしないビー玉については、その飛行距離は 380mm なので、これを衝突前のビー玉の速度と考える。

次に衝突後のビー玉の落下位置については、標的は前方 235mm で右 180mm となり、その衝突地点から飛行距離は 296mm であった。

また、投射したビー玉については、前方 148mm で左 190mm に落下した。以上の値から、運動量保存則については、前方には $234+148 \approx 383$ 、左右には $180 \approx 190$ となっており、方眼紙の横軸方向、縦軸方向の両方の向きについて、運動量保存則が成立していることがわかる。また、このときエネルギー保存則についても、 $241^2 + 296^2 \approx 381^2$ より、ほぼ成立していることがわかる。

何回か測定を行っても、すべての場合について、同様の関係が成り立っている。



点

チャレンジ番号	氏 名

課題 4-2-2 大きさ、質量のちがうビー玉の衝突

衝突前後のビー玉の運動量ベクトルを下のグラフ用紙に示すことによって、運動量保存則について議論せよ。

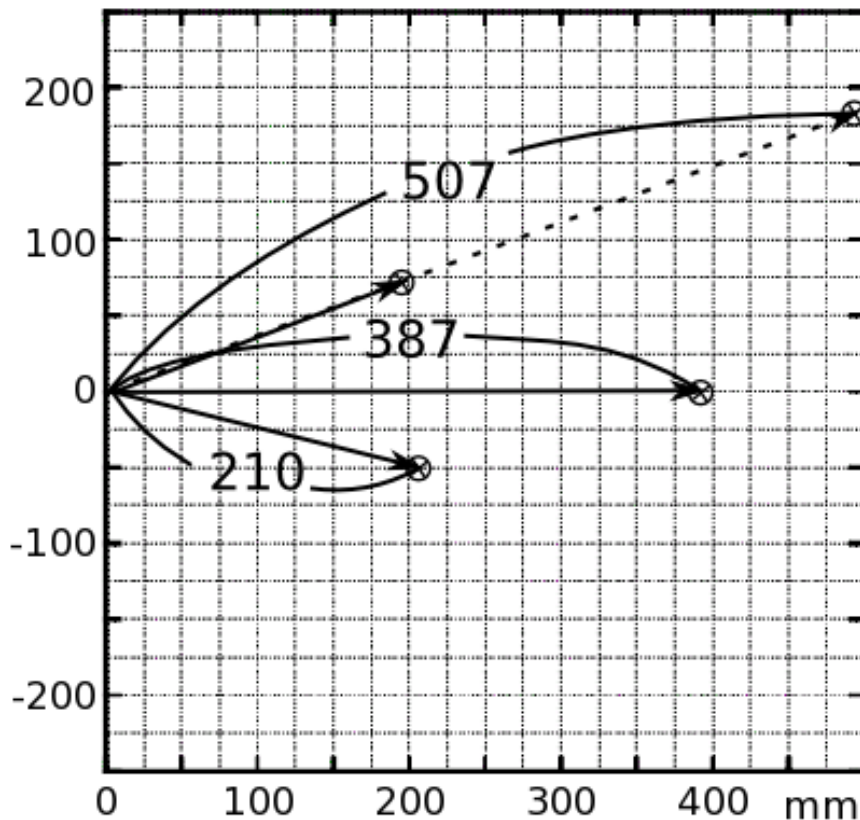
前の課題と同様に、飛行距離を用いて、それぞれの保存則について議論する。

まず、衝突をしないビー玉については、その飛行距離は 387mm なので、これを衝突前のビー玉の速度と考える。

次に衝突後のビー玉の落下位置については、標的は前方 480mm で右 164mm、飛行距離が 507mm となった。この小さい玉は、大きい玉の質量の 1/2.5 なので、大きい玉を基準として、小さい玉の運動量は、その飛行距離の 1/2.5 に比例するので、上記の飛行距離を 1/2.5 して、前方 192mm で右 66mm と考える。

大きい方のビー玉については、前方 204mm で左 50mm なので、前方には 204+192≈387、左右には 50≈66 となり、ほぼ一致している。

一方、衝突後の運動エネルギーについては、 $\frac{1}{2.5}507^2 + 210^2 \approx 383^2$ に比例する。一方、衝突前のエネルギーは 387^2 に比例するので、この場合もほぼ運動エネルギーが保存している。



点