

PHYSICS WORKBOOK 01

力学 問題集

参考書で概念を入れたあとに、ここで手を動かす。48問すべてが典型パターンで、共通テストで出るのはこの組み合わせでしかない。**1周目は解けなくてよい**。解説を読んで、翌日もう一度同じ問題を解く。3周目で「読んだ瞬間に方針が出る」状態になれば完成。

使い方

1周目 5分考えて出なければ解説へ。解けたかどうかより、**方針が合っていたか**を見る。

2周目 翌日か翌々日。式を立てるところまでを紙に書き、計算は暗算でよい。

3周目 本番の速さで。1問2分を目安に、○ が見つからない問題だけ参考書に戻る。

解答欄の点線の枠は**図を描くためのもの**。力の図・グラフ・座標の向きを必ず書き込む。

1章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

2章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

3章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

4章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

5章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

6章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

7章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

8章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

問 題 編

解説は後半にまとめてある。先に見ないこと。

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とする（問題文に指定があるときはそれに従う）。

等加速度運動とグラフ

記号の約束

v 速度 [m/s] v_0 はじめの速度（初速度） a 加速度 [m/s²] t 時間 [s] x 変位 [m] y 高さ [m]
 g 重力加速度 9.8 m/s²

この章で使う武器

- $v = v_0 + at$ (x が入っていない) / $x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ (v が入っていない) / $v^2 - v_0^2 = 2ax$ (t が入っていない)
- v-tグラフ：傾き＝加速度、面積＝変位（軸の下は負）
- 投げ上げは $a = -g$ の等加速度運動。最高点は $v = 0$ 、ただし $a = -g$ のまま
- 水平投射・斜方投射は、水平（等速）と鉛直（等加速度）に分けて、 t でつなぐ

1-1 3公式 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

直線上を等加速度運動する物体がある。はじめの速度は 4.0 m/s、加速度は 2.0 m/s² で一定である。

1. 5.0 秒後の速度はいくらか。
2. はじめの 5.0 秒間に進む距離はいくらか。

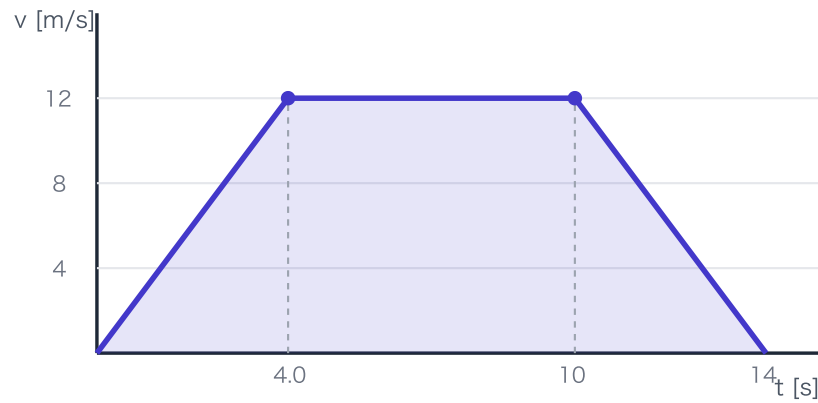
1-2 制動距離 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

20 m/s で走っていた自動車がブレーキをかけ、一定の加速度で 50 m 進んで停止した。

1. 加速度はいくらか。
2. 停止するまでにかかった時間はいくらか。

ある物体の速度の変化を、 v - t グラフに表した。



直線で結ばれた3つの区間からなる

1. 14 s 間の移動距離はいくらか。
2. 14 s 間の平均の速さはいくらか。
3. 加速度の大きさが最大なのはどの区間か。

1-4 投げ上げ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

地面から小球を鉛直上向きに 19.6 m/s の速さで投げ上げた。空気抵抗は無視する。

1. 最高点の高さはいくらか。
2. 投げ上げてから地面に戻るまでの時間はいくらか。
3. 地面に戻る直前の速さはいくらか。

1-5 自由落下 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

高さ 78.4 m のビルの屋上から、小球を静かに落とした。

1. 地面に達するまでの時間はいくらか。
2. 地面に達する直前の速さはいくらか。

高さ 44.1 m の崖の上から、水平方向に 14 m/s の速さで小球を投げ出した。空気抵抗は無視する。

1. 地面に達するまでの時間はいくらか。
2. 崖の真下から着地点までの水平距離はいくらか。
3. 着地する直前の速さはいくらか。

運動方程式と摩擦

記号の約束

m 質量 [kg] F 力 [N] a 加速度 [m/s²] N 垂直抗力 [N] f 摩擦力 [N] μ 静止摩擦係数 μ' 動摩擦係数
 T 糸の張力 [N] θ 斜面の傾角

この章で使う武器

- 力の描き順：重力 → 接触している面（ N と f ） → つながっているもの（ T 、 kx ）。それ以外は描かない
- $ma = F$ 。正の向きを図に書き込んでから式を立てる
- 静止摩擦力はつり合いから決まる。 μN は上限にすぎない／動摩擦力は $f' = \mu' N$ で一定
- 斜面： $mg \sin \theta$ と $mg \cos \theta$ に分解。すべり出す条件は $\tan \theta = \mu$
- 連結体：加速度だけなら「まとめて1つ」、張力を聞かれたら「1つずつ立てて連立」

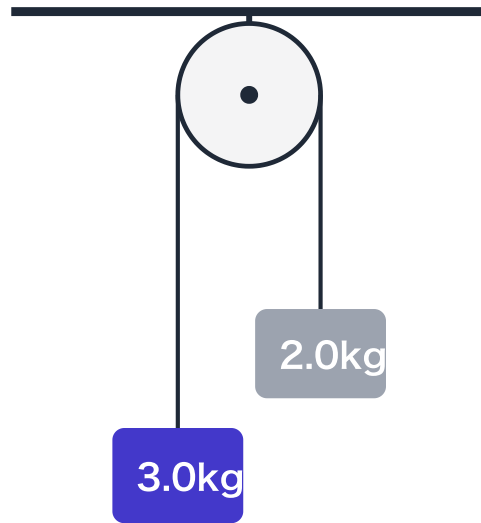
2-1 水平面 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

水平な床の上に置かれた質量 2.0 kg の物体を、水平方向に 12 N の力で引く。

1. 床がなめらかなとき、加速度はいくらか。
2. 床との動摩擦係数が 0.20 のとき、加速度はいくらか。

軽い定滑車に軽くて伸びない糸をかけ、両端に質量 3.0 kg と 2.0 kg のおもりをつるして静かに手を放した。滑車の摩擦は無視する。



重いほうが下がり、軽いほうが上がる

1. おもりの加速度の大きさはいくらか。
2. 糸の張力はいくらか。

2-3 斜面 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角 30° のなめらかな斜面上に物体を置き、静かに手を放した。

1. 斜面に沿った加速度の大きさはいくらか。
2. 5.0 m すべり下りたときの速さはいくらか。

2-4 斜面+摩擦 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角 30° の斜面上に物体を置く。物体と斜面の間の静止摩擦係数は 0.30、動摩擦係数は 0.20 である。

1. 手を放したとき、物体はすべり出すか。理由とともに答えよ。
2. すべり出す場合、加速度の大きさはいくらか。

2-5 エレベーター ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 50 kg の人がエレベーターの床に置かれた体重計に乗っている。上向きを正とする。

1. エレベーターが上向きに 2.0 m/s^2 で加速しているとき、体重計が示す力はいくらか。
2. 下向きに 2.0 m/s^2 で加速しているときはいくらか。
3. 一定の速さで上昇しているときはいくらか。

2-6 接触する2物体 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな水平面上に、質量 3.0 kg の物体 A と質量 2.0 kg の物体 B を接触させて置き、A 側から水平に 20 N の力で押した。

1. 2物体の加速度はいくらか。
2. A が B を押す力はいくらか。
3. この力の反作用は何か。

剛体のつり合い

記号の約束

M 力のモーメント [N・m] F 力 [N] ℓ うでの長さ [m] L 棒の長さ [m] m 質量 [kg] x_G 重心の位置 [m]

N 垂直抗力 [N] f 摩擦力 [N] μ 静止摩擦係数

この章で使う武器

- モーメント $M = F\ell$ 。 ℓ は回転軸から力の作用線におろした垂線の長さ
- つり合い条件は2つ：力の和 = 0 と 任意の点まわりのモーメントの和 = 0
- 軸は自分で選べる。未知の力が集まる点を軸にすると、その力が式から消える
- 重心 $x_G = \frac{m_1x_1+m_2x_2}{m_1+m_2}$ 。くり抜きは負の質量として足す

3-1 天秤 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

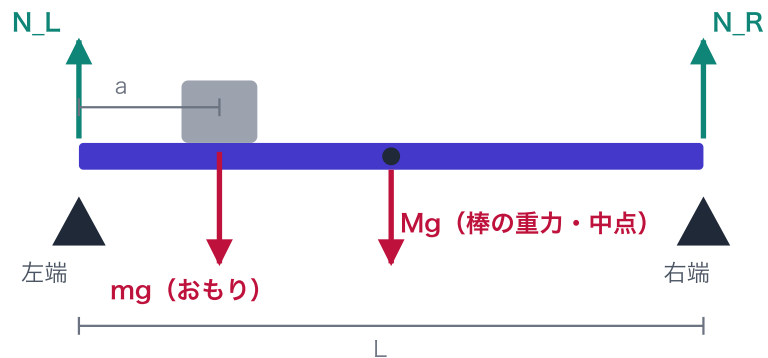
長さ 2.0 m の軽い棒の中央を支点で支える。支点から左に 1.0 m の位置に 6.0 kg のおもりをつるした。

1. 支点から右に 0.50 m の位置に何 kg のおもりをつるせばつり合うか。

3-2 両端支持 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

長さ 4.0 m、質量 20 kg の一様な棒の両端を支える。左端から 1.0 m の位置に質量 60 kg の物体をのせた。



$L = 4.0$ m、 $a = 1.0$ m。棒の重力は中点にはたらく

1. 左端の支持力はいくらか。
2. 右端の支持力はいくらか。

3-3 重心 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

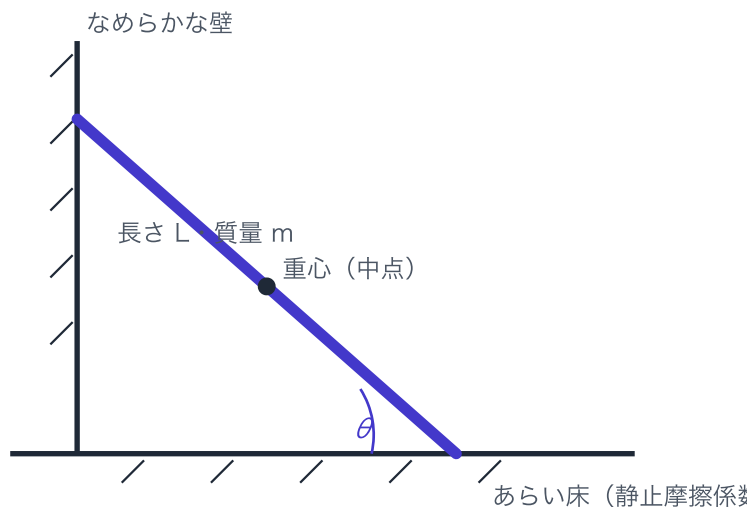
質量 2.0 kg の小球を原点に、質量 3.0 kg の小球を $x = 5.0$ m の位置に置いた。棒の質量は無視する。

1. この2球の重心の位置はどこか。

長さ 2.0 m の棒の一端が壁の蝶番でとめられている。他端に、棒と 60° の角をなす向きに 20 N の力を加えた。

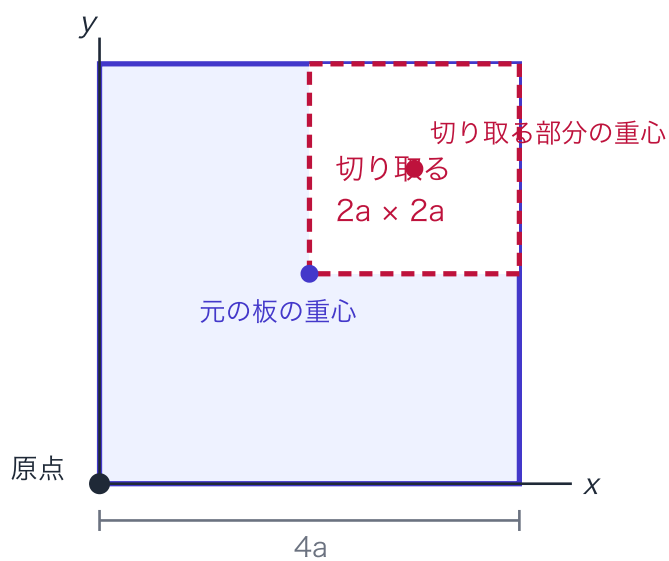
1. 蝶番のまわりのモーメントの大きさはいくらか。

なめらかな鉛直の壁に、質量 m 、長さ L の一様なはしごを傾角 θ で立てかけた。床とはしごの間の静止摩擦係数は 0.40 である。



1. はしごがすべらないための θ の条件を求めよ。
2. そのときの最小の角度は約何度か。

一辺 $4a$ の一様な正方形の板から、一つの隅にある一辺 $2a$ の正方形を切り取った。



左下の隅を原点、右向きを x 、上向きを y とする

1. 残った板の重心の位置を、切り取られていない側の隅を原点として求めよ。

仕事とエネルギー

記号の約束

W 仕事 [J] F 力 [N] x 移動距離 [m] θ 力と移動方向のなす角 K 運動エネルギー [J] U 位置エネルギー [J]
 h 高さ [m] k ばね定数 [N/m] P 仕事率 [W] d すべった道のり [m]

この章で使う武器

- $W = Fx \cos \theta$ 。力と移動が垂直なら仕事は 0。仕事率 $P = W/t = Fv$
- エネルギー原理: $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = W_{\text{すべての力}}$ (こちらが本体)
- 力学的エネルギー保存は「非保存力が仕事をしない」ときだけ
- 摩擦があるとき: (前) = (後) + 摩擦熱、摩擦熱 = $f \times$ (すべった道のり)

4-1 仕事 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 2.0 kg の物体を、鉛直上向きにゆっくりと 5.0 m 持ち上げた。

1. 手がした仕事はいくらか。
2. 重力がした仕事はいくらか。

4-2 斜面 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな斜面を、高さ 2.5 m の点から静かにすべり下りた。

1. 斜面の下端での速さはいくらか。
2. 斜面の傾きが違ってても答えは変わるか。

4-3 摩擦 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

あらい水平面上を 10 m/s ですべり出した物体が、やがて静止した。動摩擦係数は 0.25 である。

1. 静止するまでにすべる距離はいくらか。

4-4 バネ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

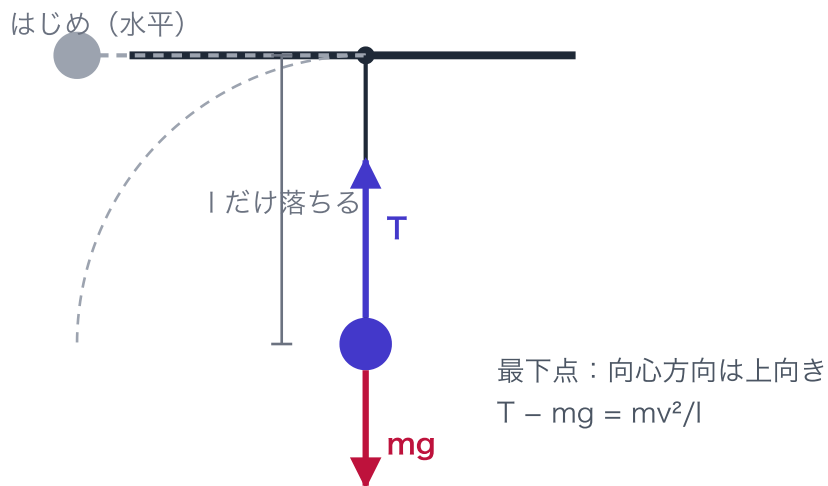
ばね定数 200 N/m のばねを 0.10 m 縮め、質量 0.50 kg の物体を水平になめらかに打ち出した。

1. 物体が離れるときの速さはいくらか。

なめらかな斜面の高さ 1.8 m の点から物体を静かにすべらせた。斜面の下端はあらい水平面につながっており、動摩擦係数は 0.30 である。

1. 水平面に出たときの速さはいくらか。
2. 水平面上を何 m すべって止まるか。

長さ 1.0 m の軽い糸の先に質量 0.20 kg の小球をつけ、糸を張ったまま水平の位置まで持ち上げて静かに放した。



水平の位置から放すので、最下点までに糸の長さ l だけ落ちる

1. 最下点での速さはいくらか。
2. 最下点での糸の張力はいくらか。

運動量と力積

記号の約束

p 運動量 [kg・m/s] F 力 [N] t 力がはたらいた時間 [s] m 質量 [kg] v 衝突前の速度 v' 衝突後の速度 e 反発係数
 V 合体後の速さ h 高さ [m]

この章で使う武器

- $Ft = mv' - mv$ (力積＝運動量の変化)。F-tグラフの面積が力積
- 運動量保存 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$ (衝突・合体・分裂)
- 反発係数 $e = -\frac{v'_1 - v'_2}{v_1 - v_2}$ 。 $e = 1$ で運動エネルギーも保存、 $e = 0$ で合体
- 床との跳ね返り: $h' = e^2h$
- 一瞬の出来事＝運動量、そのあと＝エネルギーで式を分ける

5-1 合体 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな水平面上で、質量 2.0 kg の台車が 6.0 m/s で進み、静止していた質量 1.0 kg の台車に衝突して一体となった。

1. 衝突後の速さはいくらか。
2. 衝突で失われた運動エネルギーはいくらか。

5-2 力積 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 0.15 kg のボールが 20 m/s で壁に垂直に当たり、 15 m/s ではね返った。接触時間は 0.020 s であった。

1. ボールが受けた力積の大きさはいくらか。
2. 壁がボールにおよぼした平均の力はいくらか。

5-3 反発係数 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな水平面上で、質量 1.0 kg の球 A が 4.0 m/s で進み、静止していた質量 2.0 kg の球 B に衝突した。反発係数は 0.50 である。



1. 衝突後の A、B の速度をそれぞれ求めよ（右向きを正）。

5-4 床 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

小球を高さ 2.0 m から静かに落としたところ、はね返って 1.28 m の高さまで上がった。

1. 床との反発係数はいくらか。
2. 2回目にはね返る高さはいくらか。

5-5 弾丸 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

軽い糸でつるされた質量 1.99 kg の木片に、質量 0.010 kg の弾丸が水平に 400 m/s で撃ち込まれ、内部で止まった。

1. 撃ち込まれた直後の木片（弾丸を含む）の速さはいくらか。
2. 木片は最高で何 m 振れ上がるか。

静止していた質量 $3M$ の物体が内部の爆発により2つに分かれ、質量 M の破片が速さ v で飛び出した。

1. 質量 $2M$ の破片の速さと向きを求めよ。
2. 爆発によって生じた運動エネルギーの合計を求めよ。

円運動

記号の約束

r 円の半径 [m] ω 角速度 [rad/s] v 速さ [m/s] a 向心加速度 [m/s²]

T 周期 [s] (張力と紛らわしいときは張力を T 、周期を $T_{\text{周期}}$ と書く) F 向心力 [N] m 質量 [kg]

この章で使う武器

- $v = r\omega$ 、 $a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$ 、 $T = \frac{2\pi}{\omega}$
- 向心方向の運動方程式 $m\frac{v^2}{r} = F$ 。右辺には**実在する力の中心向き成分**だけを書く
- 回転系で見るなら遠心力 $m\frac{v^2}{r}$ を加えて**つり合い**。地面から見る図と混ぜない
- 鉛直円運動：最高点で $mg + T = m\frac{v^2}{r}$ 、糸がたるまない条件は $v^2 \geq gr$

6-1 基本量 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

半径 0.50 m の円周上を、周期 2.0 s で等速円運動している物体がある。

1. 角速度はいくらか。
2. 速さはいくらか。
3. 向心加速度の大きさはいくらか。

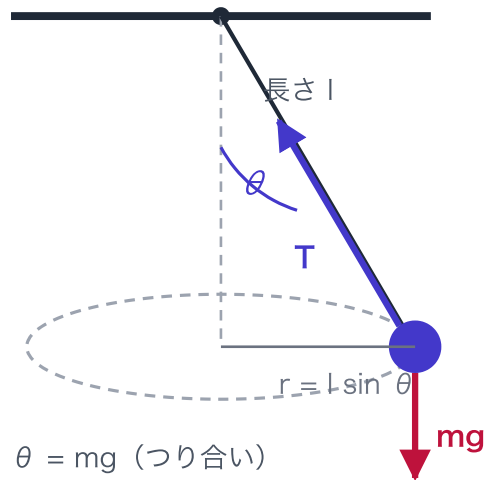
6-2 張力 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな水平面上で、質量 0.20 kg の球を長さ 0.50 m の糸につけ、速さ 2.0 m/s で等速円運動させた。

1. 糸の張力はいくらか。

長さ 1.0 m の糸の先に質量 0.10 kg の小球をつけ、糸が鉛直と 30° をなす円錐振り子にした。



鉛直 : $T \cos \theta = mg$ (つり合い)

水平 : $T \sin \theta = mv^2/r$ (円運動)

球は水平面内で円を描く。半径は $l \sin \theta$ になる

1. 糸の張力はいくらか。
2. 円運動の周期はいくらか。

6-4

鉛直円 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

長さ 0.40 m の糸の先の小球を、鉛直面内で円運動させる。

1. 最高点で糸がたるまないための最小の速さはいくらか。

6-5

鉛直円 ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

半径 r の円軌道上を、糸につけた小球が鉛直面内で1周する。

1. 最下点で必要な最小の速さを g と r で表せ。

半径 50 m の水平なカーブを自動車が曲がる。タイヤと路面の静止摩擦係数は 0.40 である。

1. すべらずに曲がれる最大の速さはいくらか。

単振動

記号の約束

x 振動の中心からの変位 [m] A 振幅 [m] ω 角振動数 [rad/s] T 周期 [s] k バネ定数 [N/m]

K 復元力の比例定数 ($F = -Kx$ の K) l 糸の長さ [m] m 質量 [kg]

この章で使う武器

- 定義 $a = -\omega^2 x$ (x は振動の中心からの変位)。力であれば $F = -Kx$
- $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$ 。ばね振り子は $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 、単振り子は $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
- $v_{max} = A\omega$ (中心)、 $a_{max} = A\omega^2$ (端)
- 振動の中心は力のつり合いの位置。エネルギー保存 $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Kx^2 = \frac{1}{2}KA^2$

7-1 周期 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

ばね定数 50 N/m のばねに質量 0.50 kg のおもりをつけ、水平になめらかな面上で振動させた。

1. 周期はいくらか。
2. おもりの質量を4倍にすると周期は何倍になるか。

7-2 最大値 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

振幅 0.10 m、周期 0.628 s の単振動をしている物体がある。

1. 最大の速さはいくらか。また、それはどの位置か。
2. 最大の加速度はいくらか。また、それはどの位置か。

7-3 単振り子 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

単振り子について答えよ（振れ幅は十分小さいとする）。

1. 糸の長さを4倍にすると、周期は何倍になるか。
2. おもりの質量を2倍にすると、周期は何倍になるか。

7-4 鉛直ばね ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

ばね定数 40 N/m のばねを天井から鉛直につるし、質量 0.20 kg のおもりをつけた。

1. つり合いの位置は自然長から何 m 下か。
2. この位置からさらに引き下げて放したときの周期はいくらか。

7-5 途中の速さ ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

振幅 A 、角振動数 ω の単振動をしている物体がある。

1. 変位が $\frac{A}{2}$ のときの速さを A 、 ω で表せ。

ばね定数 100 N/m のばねにつけた物体が、振幅 0.20 m で単振動している。

1. この振動の全エネルギーはいくらか。
2. 変位が 0.10 m のときの運動エネルギーはいくらか。

万有引力

記号の約束

G 万有引力定数 M 中心天体の質量 [kg] m まわる物体の質量 [kg] r 中心からの距離 [m] R 天体の半径 [m]

U 万有引力の位置エネルギー [J] T 公転周期 [s] a 楕円軌道の長半径 [m] (加速度ではない) v 速さ [m/s]

g 地表の重力加速度

この章で使う武器

- $F = G \frac{Mm}{r^2}$ 、位置エネルギー $U = -G \frac{Mm}{r}$ (無限遠が基準・負)
- 円軌道: $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$
- 地表では $GM = gR^2$ (G も M も知らなくてよくなる)
- ケプラー: 面積速度一定 (rv 一定)、 $\frac{T^2}{a^3} = \text{一定}$

8-1 宇宙速度 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

地球の半径を 6.4×10^6 m、地表での重力加速度を 9.8 m/s^2 とする。

1. 地表すれすれを回る人工衛星の速さ (第一宇宙速度) はいくらか。

8-2 脱出速度 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ地球について答えよ。

1. 地表から打ち上げて無限遠まで飛び去るのに必要な最小の速さ（脱出速度）はいくらか。
2. それは第一宇宙速度の何倍か。

8-3 ケプラー ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

太陽のまわりを公転する惑星について答えよ。

1. 軌道の長半径が地球の4倍である惑星の公転周期は、地球の何倍か。

8-4

静止衛星 ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

地球の自転周期と同じ 24 時間 (8.64×10^4 s) で赤道上空を回る静止衛星がある。地球の半径を 6.4×10^6 m、地表の重力加速度を 9.8 m/s^2 とする。

1. この衛星の軌道半径（地球の中心からの距離）を求めよ。

8-5

位置エネルギー ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 M 、半径 R の惑星の地表から、質量 m の物体を中心からの距離 r の点まで運ぶ。

1. 必要な仕事を G 、 M 、 m 、 R 、 r で表せ。

ある彗星が楕円軌道を描いている。近日点での太陽からの距離は、遠日点での距離の $\frac{1}{3}$ であった。

1. 近日点での速さは、遠日点での速さの何倍か。

解説編

式は書き写せる順に並べてある。

自分の答案と1行ずつ突き合わせて、どこで分かれたかを特定する。

第1章 等加速度運動とグラフ

1-1 3公式の直接代入

■(1) 時間が与えられて速度を聞かれている $\rightarrow v = v_0 + at$

$$v = 4.0 + 2.0 \times 5.0 = 14 \text{ m/s}$$

■(2) 時間から位置 $\rightarrow x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

$$x = 4.0 \times 5.0 + \frac{1}{2} \times 2.0 \times 5.0^2 = 20 + 25 = 45 \text{ m}$$

検算：平均の速度 $(4.0 + 14)/2 = 9.0 \text{ m/s}$ 、 $9.0 \times 5.0 = 45 \text{ m}$ で一致する。

答 (1) 14 m/s (2) 45 m

1-2 時間が出てこないで $v^2 - v_0^2 = 2ax$

■(1) 時間が問題文にない $\rightarrow v^2 - v_0^2 = 2ax$

$$0 - 20^2 = 2a \times 50 \rightarrow a = -4.0 \text{ m/s}^2 \text{ (大きさ } 4.0 \text{ m/s}^2 \text{、向きは進行方向と逆)}$$

■(2) ここで初めて時間の式を使う

$$0 = 20 + (-4.0)t \rightarrow t = 5.0 \text{ s}$$

答 (1) -4.0 m/s^2 (大きさ 4.0 m/s^2) (2) 5.0 s

1-3 v-tグラフの面積＝移動距離

■(1) v-tグラフを描くと台形になる。面積が移動距離

上底（一定の区間）＝10－4.0＝6.0 s、下底（全体）＝14 s、高さ＝12 m/s

$$x = \frac{(6.0+14)}{2} \times 12 = 120 \text{ m}$$

■(2) 平均の速さ＝移動距離÷時間

$$120/14 = 8.57 \approx 8.6 \text{ m/s}$$

■(3) 傾きの大きさを比べる

0～4.0 s：12/4.0＝3.0、10～14 s：12/4.0＝3.0 … と思いきや後半は4.0 sで12 m/s減るので同じ3.0 m/s²。中央の区間は0。よって両端の区間が同じ大きさで最大。

答 (1) 120 m (2) 8.6 m/s (3) 0～4.0 s と 10～14 s (ともに 3.0 m/s²)

1-4 鉛直投げ上げの3点セット

上向きを正、 $a = -g = -9.8 \text{ m/s}^2$ とする。

■(1) 最高点は $v = 0$ 。時間が要らないので $v^2 - v_0^2 = 2ay$

$$0 - 19.6^2 = 2 \times (-9.8) \times y \rightarrow y = 19.6 \text{ m}$$

■(2) 地面に戻る＝ $y = 0$

$$0 = 19.6t - \frac{1}{2} \times 9.8t^2 \rightarrow t(19.6 - 4.9t) = 0 \rightarrow t = 4.0 \text{ s}$$

（上に19.6/9.8＝2.0 s、下りも対称で2.0 sと考えてもよい）

■(3) 対称性より、投げ上げたときと同じ速さ

$$v = 19.6 \text{ m/s} \text{（向きは下向き）}$$

答 (1) 19.6 m (2) 4.0 s (3) 19.6 m/s

1-5 自由落下は $v_0=0$ の等加速度

下向きを正、 $v_0 = 0$ 、 $a = g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

■(1) $y = \frac{1}{2}gt^2$

$$78.4 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times t^2 \rightarrow t^2 = 16 \rightarrow t = 4.0 \text{ s}$$

■(2) $v = gt$

$$v = 9.8 \times 4.0 = 39.2 \text{ m/s}$$

答 (1) 4.0 s (2) 39.2 m/s

1-6 水平と鉛直に分けて \$t\$ でつなぐ

■方針 水平方向は等速、鉛直方向は自由落下。共通するのは時間 t だけ。

■(1) 鉛直方向だけで決まる（水平の速さは落下時間に影響しない）

$$44.1 = \frac{1}{2} \times 9.8t^2 \rightarrow t^2 = 9.0 \rightarrow t = 3.0 \text{ s}$$

■(2) 水平方向は等速

$$x = 14 \times 3.0 = 42 \text{ m}$$

■(3) 着地直前の鉛直速度は $v_y = 9.8 \times 3.0 = 29.4 \text{ m/s}$

速さは2方向の合成： $v = \sqrt{14^2 + 29.4^2} = \sqrt{196 + 864} = \sqrt{1060} \approx 32.6 \text{ m/s}$

答 (1) 3.0 s (2) 42 m (3) 約 33 m/s

第2章 運動方程式と摩擦

2-1 摩擦なし／ありの比較

■(1) $ma = F$

$$a = 12/2.0 = 6.0 \text{ m/s}^2$$

■(2) 垂直抗力は $N = mg = 2.0 \times 9.8 = 19.6 \text{ N}$

$$\text{動摩擦力 } f' = \mu' N = 0.20 \times 19.6 = 3.92 \text{ N}$$

$$2.0a = 12 - 3.92 = 8.08 \rightarrow a = 4.04 \approx 4.0 \text{ m/s}^2$$

答 (1) 6.0 m/s² (2) 約 4.0 m/s²

2-2 アトウッド：2本立てて連立

3.0 kg 側は下向きを正、2.0 kg 側は上向きを正とする（糸でつながっている所以加速度の大きさは同じ）。

$$3.0a = 3.0g - T \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$2.0a = T - 2.0g \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

■(1) ①+② で T が消える

$$5.0a = 1.0g \rightarrow a = 9.8/5.0 = 1.96 \approx 2.0 \text{ m/s}^2$$

■(2) ②に戻す

$$T = 2.0(a + g) = 2.0 \times (1.96 + 9.8) = 23.5 \text{ N}$$

検算： T は $2.0g = 19.6 \text{ N}$ と $3.0g = 29.4 \text{ N}$ の間にある。

答 (1) 約 2.0 m/s² (2) 約 24 N

2-3 なめらかな斜面+等加速度3公式

■(1) 斜面方向の運動方程式（斜面下向きを正）

$$ma = mg \sin 30^\circ \rightarrow a = 9.8 \times 0.50 = 4.9 \text{ m/s}^2 \text{（質量によらない）}$$

■(2) 時間が要らないので $v^2 - v_0^2 = 2ax$

$$v^2 = 2 \times 4.9 \times 5.0 = 49 \rightarrow v = 7.0 \text{ m/s}$$

答 (1) 4.9 m/s² (2) 7.0 m/s

2-4 すべるかどうかの判定が先

■(1) すべり出さない条件は $\tan \theta \leq \mu$

$\tan 30^\circ = 0.577$ 、 $\mu = 0.30$ 。 $0.577 > 0.30$ なので条件を満たさず、すべり出す。

（力で比べてもよい： $mg \sin 30^\circ = 0.50mg$ に対し最大静止摩擦は $0.30 \times mg \cos 30^\circ = 0.26mg$ ）

■(2) すべてっているので動摩擦係数を使う

$$a = g(\sin \theta - \mu' \cos \theta) = 9.8(0.500 - 0.20 \times 0.866) = 9.8 \times 0.327 = 3.2 \text{ m/s}^2$$

答 (1) すべり出す ($\tan 30^\circ = 0.58 > 0.30$) (2) 約 3.2 m/s²

2-5 垂直抗力は mg とは限らない

人にはたらく力は重力 mg （下向き）と垂直抗力 N （上向き）。運動方程式は $ma = N - mg$ 。

■(1) $a = +2.0$

$$N = m(g + a) = 50 \times (9.8 + 2.0) = 590 \text{ N}$$

■(2) $a = -2.0$

$$N = 50 \times (9.8 - 2.0) = 390 \text{ N}$$

■(3) 一定の速さ=加速度 0（速度があることと加速度があることは別）

$$N = 50 \times 9.8 = 490 \text{ N}$$

答 (1) 590 N (2) 390 N (3) 490 N

2-6 まとめて → 1つだけ、の2段階え

■(1) まず全体を1つの物体とみなす（内力である接触力は消える）

$$(3.0 + 2.0)a = 20 \rightarrow a = 4.0 \text{ m/s}^2$$

■(2) つぎにB だけを取り出す。B にはたらく水平の力は A から押される力 F だけ

$$2.0 \times 4.0 = F \rightarrow F = 8.0 \text{ N}$$

■(3) 作用・反作用

B が A を押し返す 8.0 N の力（向きは逆）。A について式を立てると $3.0 \times 4.0 = 20 - 8.0$ となり、つじつまが合う。

答 (1) 4.0 m/s² (2) 8.0 N (3) B が A を押し返す 8.0 N の力

第3章 剛体のつり合い

3-1 $m_1 d_1 = m_2 d_2$

■支点まわりのモーメントのつり合い

$$6.0 \times 1.0 = m \times 0.50 \rightarrow m = 12 \text{ kg}$$

(g は両辺にあるので消える)

答 12 kg

3-2 軸を端に取って未知数を1つ消す

■(1) 右端を軸に取る（右端の支持力のうでが 0 になって消える）

棒の重力は中央（右端から 2.0 m）、物体は右端から 3.0 m の位置。

$$N_L \times 4.0 = 20 \times 9.8 \times 2.0 + 60 \times 9.8 \times 3.0$$

$$N_L \times 4.0 = 392 + 1764 = 2156 \rightarrow N_L = 539 \text{ N}$$

■(2) 鉛直方向の力のつり合い

$$N_L + N_R = (20 + 60) \times 9.8 = 784 \rightarrow N_R = 784 - 539 = 245 \text{ N}$$

答 (1) 539 N (2) 245 N

3-3 重みつき平均

$$\blacksquare x_G = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

$$x_G = \frac{2.0 \times 0 + 3.0 \times 5.0}{2.0 + 3.0} = \frac{15}{5.0} = 3.0 \text{ m}$$

重い方に寄っていることを確認する。

答 $x = 3.0 \text{ m}$

3-4 うでは垂線、または力を分解

■力を「棒に垂直な成分」と「棒に平行な成分」に分ける

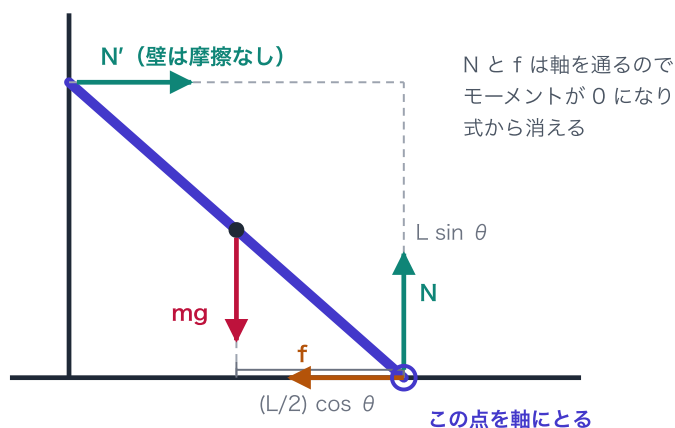
棒に平行な成分は蝶番を通るのでモーメントを生まない。効くのは垂直成分 $F \sin 60^\circ$ だけ。

$$M = F \sin 60^\circ \times L = 20 \times 0.866 \times 2.0 = 34.6 \text{ N}\cdot\text{m}$$

(うでの長さを $L \sin 60^\circ$ と取っても同じ。両方やると2回かけてしまうので、どちらか一方。)

答 約 35 N·m

3-5 床との接点を軸にする



はたらく力は4つだけ。うでの長さ（灰色の破線）を図から読み取る

■力を描く：重力 mg （中点）、床からの垂直抗力 N と摩擦力 f 、壁からの垂直抗力 N' （壁はなめらかなので摩擦なし）

■鉛直： $N = mg$ / 水平： $f = N'$

■床との接点を軸にモーメント（ N と f が消える）

$$N' \cdot L \sin \theta = mg \cdot \frac{L}{2} \cos \theta \rightarrow N' = \frac{mg}{2 \tan \theta}$$

■すべらない条件 $f \leq \mu N$

$$\frac{mg}{2 \tan \theta} \leq \mu mg \rightarrow \tan \theta \geq \frac{1}{2\mu}$$

$$\text{■(2) } \tan \theta \geq \frac{1}{2 \times 0.40} = 1.25 \rightarrow \theta \geq 51.3^\circ$$

答 (1) $\tan \theta \geq \frac{1}{2\mu}$ (2) 約 51°

3-6 くり抜きは負の質量

■くり抜いた部分を負の質量として扱う。面密度を 1 とすると

元の板：質量 $16a^2$ 、重心 $(2a, 2a)$

切り取った部分：質量 $4a^2$ 、重心 $(3a, 3a)$ （原点から遠い隅を切ったとする）

$$\blacksquare x_G = \frac{16a^2 \times 2a - 4a^2 \times 3a}{16a^2 - 4a^2} = \frac{32a^3 - 12a^3}{12a^2} = \frac{20a}{12} = \frac{5a}{3}$$

対称性より y_G も同じ。

$$\text{答 } \left(\frac{5a}{3}, \frac{5a}{3} \right)$$

第4章 仕事とエネルギー

4-1 持ち上げる仕事

■(1) ゆっくり＝加速度 0 なので、手の力は mg に等しい

$$W = mgh = 2.0 \times 9.8 \times 5.0 = 98 \text{ J}$$

■(2) 重力は移動と逆向きなので負

$W_{\text{重力}} = -98 \text{ J}$ （合計 0 で、運動エネルギーは変わっていない）

$$\text{答 } (1) 98 \text{ J} \quad (2) -98 \text{ J}$$

4-2 $v = \sqrt{2gh}$ は経路によらない

■(1) 力学的エネルギー保存（なめらか＝摩擦なし）

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 2.5} = \sqrt{49} = 7.0 \text{ m/s}$$

■(2) 変わらない。重力の仕事は高さの差だけで決まるので、途中の形によらない。

$$\text{答 } (1) 7.0 \text{ m/s} \quad (2) \text{ 変わらない}$$

4-3 運動エネルギー＝摩擦熱

■はじめの運動エネルギーが、すべて摩擦熱に変わる

$$\frac{1}{2}mv^2 = \mu' mgd$$

$$m \text{ が消えて } d = \frac{v^2}{2\mu'g} = \frac{10^2}{2 \times 0.25 \times 9.8} = \frac{100}{4.9} = 20.4 \text{ m}$$

$$\text{答 } \text{約 } 20 \text{ m}$$

4-4 $\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2$

■ばねの弾性エネルギーがすべて運動エネルギーになる

$$\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{kx^2}{m}} = \sqrt{\frac{200 \times 0.10^2}{0.50}} = \sqrt{4.0} = 2.0 \text{ m/s}$$

答 2.0 m/s

4-5 $d = \frac{h}{\mu'}$ (質量が消える)

■(1) 斜面はなめらか

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 1.8} = \sqrt{35.28} = 5.94 \text{ m/s}$$

■(2) はじめの位置エネルギーが、そのまま摩擦熱になる

$$mgh = \mu' mgd \rightarrow d = \frac{h}{\mu'} = \frac{1.8}{0.30} = 6.0 \text{ m}$$

m も g も消える。重い物体ほど遠くへ行く、わけではない。

答 (1) 約 5.9 m/s (2) 6.0 m

4-6 エネルギー保存+円運動の式

■(1) 力学的エネルギー保存 (糸の張力は移動方向と垂直なので仕事をしない)

落下する高さは糸の長さ l に等しい。

$$v = \sqrt{2gl} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 1.0} = 4.43 \text{ m/s}$$

■(2) 最下点では円運動している。向心方向 (上向き) の運動方程式

$$m \frac{v^2}{l} = T - mg$$

$$T = mg + \frac{mv^2}{l} = 0.20 \times 9.8 + \frac{0.20 \times 19.6}{1.0} = 1.96 + 3.92 = 5.88 \text{ N}$$

$T = 3mg$ になっている (水平から放したときの定番の結果)。

答 (1) 約 4.4 m/s (2) 5.9 N ($=3mg$)

第5章 運動量と力積

5-1 完全非弾性衝突

■(1) 運動量保存

$$2.0 \times 6.0 = (2.0 + 1.0)V \rightarrow V = 4.0 \text{ m/s}$$

■(2) 前後の運動エネルギーを比べる

$$\text{前} : \frac{1}{2} \times 2.0 \times 6.0^2 = 36 \text{ J} \quad \text{後} : \frac{1}{2} \times 3.0 \times 4.0^2 = 24 \text{ J}$$

$$\text{失われた分} : 36 - 24 = 12 \text{ J (熱や音になった)}$$

答 (1) 4.0 m/s (2) 12 J

5-2 向きが逆になるので足し算

■(1) はね返り方向を正とすると、速度は -20 m/s から $+15 \text{ m/s}$ に変わった

$$\Delta p = 0.15 \times 15 - 0.15 \times (-20) = 0.15 \times 35 = 5.25 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$$

■(2) $Ft = \Delta p$

$$F = 5.25 / 0.020 = 262.5 \approx 2.6 \times 10^2 \text{ N}$$

向きが逆になるときは足すのがポイント (引くと 0.75 になってしまう)。

答 (1) 5.25 kg·m/s (2) 約 $2.6 \times 10^2 \text{ N}$

5-3 運動量保存と e の式を連立

$$\text{■運動量保存} \quad 1.0 \times 4.0 = 1.0v'_A + 2.0v'_B \quad \cdots\cdots\text{①}$$

$$\text{■反発係数} \quad 0.50 = -\frac{v'_A - v'_B}{4.0 - 0} \rightarrow v'_B - v'_A = 2.0 \quad \cdots\cdots\text{②}$$

$$\text{■②を①に代入} \quad (v'_B = v'_A + 2.0)$$

$$4.0 = v'_A + 2.0(v'_A + 2.0) = 3.0v'_A + 4.0 \rightarrow v'_A = 0$$

$$v'_B = 2.0 \text{ m/s}$$

A はその場で止まる。

答 A : 0 m/s B : 2.0 m/s (右向き)

5-4 $h' = e^2 h$

$$\text{■(1)} \quad h' = e^2 h$$

$$e = \sqrt{h'/h} = \sqrt{1.28/2.0} = \sqrt{0.64} = 0.80$$

$$\text{■(2) さらに } e^2 \text{ 倍}$$

$$1.28 \times 0.64 = 0.819 \approx 0.82 \text{ m}$$

答 (1) 0.80 (2) 約 0.82 m

5-5 2段に分ける（運動量→エネルギー）

■(1) 撃ち込まれる一瞬は運動量保存（重力や糸の張力の力積は無視できる）

$$0.010 \times 400 = (1.99 + 0.010)V \rightarrow 4.0 = 2.0V \rightarrow V = 2.0 \text{ m/s}$$

■(2) そのあとはゆっくり振れ上がるので力学的エネルギー保存

$$\frac{1}{2}(2.0)V^2 = (2.0)gh \rightarrow h = \frac{V^2}{2g} = \frac{4.0}{19.6} = 0.204 \text{ m}$$

1本の式でまとめて解こうとすると必ず間違ふ。区切りは「一瞬かどうか」。

答 (1) 2.0 m/s (2) 約 0.20 m

5-6 はじめの運動量が 0

■(1) はじめの運動量は 0。したがって分裂後の運動量の和も 0

$$0 = Mv + 2MV \rightarrow V = -\frac{v}{2} \text{ (逆向きに } \frac{v}{2})$$

■(2) 運動エネルギーの合計

$$\frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}(2M)\left(\frac{v}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{4}Mv^2 = \frac{3}{4}Mv^2$$

答 (1) 逆向きに $\frac{v}{2}$ (2) $\frac{3}{4}Mv^2$

第6章 円運動

6-1 ω からすべて出す

■(1) $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2.0} = 3.14 \text{ rad/s}$

■(2) $v = r\omega = 0.50 \times 3.14 = 1.57 \text{ m/s}$

■(3) $a = r\omega^2 = 0.50 \times 3.14^2 = 4.93 \text{ m/s}^2$

($a = v^2/r = 1.57^2/0.50 = 4.93$ でも同じ)

答 (1) 3.1 rad/s (2) 1.6 m/s (3) 4.9 m/s²

6-2 向心力=張力

■水平面内なので重力は円運動に関係しない。中心を向いている力は張力だけ

$$T = m \frac{v^2}{r} = \frac{0.20 \times 2.0^2}{0.50} = 1.6 \text{ N}$$

答 1.6 N

6-3 鉛直はつり合い、水平は円運動

■鉛直方向はつり合い（上下には動かない）

$$T \cos 30^\circ = mg \rightarrow T = \frac{0.10 \times 9.8}{0.866} = 1.13 \text{ N}$$

■水平方向は円運動の運動方程式。半径は $r = l \sin 30^\circ = 0.50 \text{ m}$

$$T \sin 30^\circ = m \frac{v^2}{r} \rightarrow 1.13 \times 0.50 = \frac{0.10 v^2}{0.50} \rightarrow v^2 = 2.83, v = 1.68 \text{ m/s}$$

■周期

$$T_{\text{周期}} = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \times 0.50}{1.68} = 1.87 \text{ s}$$

(公式 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos \theta}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{0.866}{9.8}} = 1.87 \text{ s}$ と一致)

答 (1) 約 1.1 N (2) 約 1.9 s

6-4 最高点で $T=0$

■最高点では重力も張力もどちらも下向き（中心向き）

$$mg + T = m \frac{v^2}{r}$$

たるまない限界は $T = 0$

$$v = \sqrt{gr} = \sqrt{9.8 \times 0.40} = \sqrt{3.92} = 1.98 \text{ m/s}$$

答 約 2.0 m/s

6-5 最高点の条件+エネルギー保存

■最高点で必要な速さ v_t は、 $T = 0$ の条件から $v_t^2 = gr$

■最下点から最高点まで、力学的エネルギー保存（糸の張力は仕事をしない）

$$\frac{1}{2} m v_b^2 = \frac{1}{2} m v_t^2 + mg(2r)$$

$$v_b^2 = v_t^2 + 4gr = gr + 4gr = 5gr$$

$$v_b = \sqrt{5gr}$$

答 $v = \sqrt{5gr}$

6-6 摩擦力が向心力になる

■向心力の役目をしているのは摩擦力。その上限が最大静止摩擦力

$$m \frac{v^2}{r} \leq \mu mg$$

$$v \leq \sqrt{\mu gr} = \sqrt{0.40 \times 9.8 \times 50} = \sqrt{196} = 14 \text{ m/s}$$

質量が消えるので、大型車でも小型車でも限界の速さは同じ。

答 14 m/s (約 50 km/h)

第7章 単振動

7-1 $T=2\pi\sqrt{m/k}$

$$\blacksquare(1) \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0.50}{50}} = 2\pi \times 0.10 = 0.628 \text{ s}$$

$$\blacksquare(2) \quad T \propto \sqrt{m} \text{ なので } \sqrt{4} = 2 \text{ 倍}$$

答 (1) 約 0.63 s (2) 2 倍

7-2 $v_{\max}=A\omega$, $a_{\max}=A\omega^2$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{6.28}{0.628} = 10 \text{ rad/s}$$

$$\blacksquare(1) \quad v_{\max} = A\omega = 0.10 \times 10 = 1.0 \text{ m/s。位置は振動の中心。}$$

$$\blacksquare(2) \quad a_{\max} = A\omega^2 = 0.10 \times 100 = 10 \text{ m/s}^2。位置は両端。}$$

速さが最大の場所と加速度が最大の場所は入れ替わりの関係にある。

答 (1) 1.0 m/s (中心) (2) 10 m/s² (端)

7-3 $T=2\pi\sqrt{l/g}$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\blacksquare(1) \quad \sqrt{4} = 2 \text{ 倍}$$

$$\blacksquare(2) \quad \text{式に } m \text{ が入っていないので1倍 (変わらない)。}$$

答 (1) 2 倍 (2) 変わらない

7-4 振動の中心=つり合いの位置

$$\blacksquare(1) \quad \text{つり合い: } kx = mg$$

$$x = \frac{0.20 \times 9.8}{40} = 0.049 \text{ m}$$

$$\blacksquare(2) \quad \text{つり合いの位置を原点にとると、重力の項が消えて } ma = -kx \text{ の形になる}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0.20}{40}} = 2\pi \times 0.0707 = 0.444 \text{ s}$$

鉛直につるしても周期は水平のときと同じ。

答 (1) 0.049 m (2) 約 0.44 s

7-5 エネルギー保存で \$v\$ を出す

■方針の決め方 与えられた文字は A, ω, x 。求めるのは v 。時刻 t はどこにも出てこない。だから $x = A \sin \omega t$ や $v = A\omega \cos \omega t$ のような t の入った式は使わない。 t を含まない式は次の1本だけ。

■エネルギー保存 $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Kx^2 = \frac{1}{2}KA^2$ ($K = m\omega^2$)

$$v^2 = \omega^2(A^2 - x^2)$$

$x = \frac{A}{2}$ を代入して

$$v = \omega \sqrt{A^2 - \frac{A^2}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2}A\omega \approx 0.87A\omega$$

中心での速さ $A\omega$ の 87 % で、まだかなり速いことがわかる。

■なぜエネルギーなのか この式の両辺に $\frac{m}{2}$ をかけると $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Kx^2 = \frac{1}{2}KA^2$ になり、エネルギー保存そのものになる。

エネルギーの式とは「時間を消した運動方程式」だから、時間が出てこない問題では必ずこれを選ぶ。

(t から解いても答えは同じだが、 $\sin \omega t = \frac{1}{2}$ の解が $\frac{\pi}{6}$ と $\frac{5\pi}{6}$ の2つあるため、 $\cos$ が $\pm \frac{\sqrt{3}}{2}$ となり符号の場合分けが要る。エネルギーならその手間がない。)

答 $v = \frac{\sqrt{3}}{2}A\omega$

7-6 全エネルギーは $\frac{1}{2}kA^2$

■(1) 端では速さ 0 なので、全エネルギー＝弾性エネルギー

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times 0.20^2 = 2.0 \text{ J}$$

■(2) そのときの弾性エネルギー

$$U = \frac{1}{2} \times 100 \times 0.10^2 = 0.50 \text{ J}$$

$$K = E - U = 2.0 - 0.50 = 1.5 \text{ J}$$

変位が半分でも、運動エネルギーは 3/4 も残っている。

答 (1) 2.0 J (2) 1.5 J

第8章 万有引力

8-1 $v = \sqrt{gR}$

■万有引力が向心力になっている。地表では万有引力＝重力なので

$$m \frac{v^2}{R} = mg \rightarrow v = \sqrt{gR}$$

$$v = \sqrt{9.8 \times 6.4 \times 10^6} = \sqrt{6.27 \times 10^7} = 7.9 \times 10^3 \text{ m/s}$$

答 約 $7.9 \times 10^3 \text{ m/s}$ (7.9 km/s)

8-2 無限遠で $v=0$

■(1) 無限遠で「速度 0・位置エネルギー 0」となるのが最小の条件

$$\frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{R} = 0$$

$$GM = gR^2 \text{ を使うと } \frac{1}{2}v^2 = gR \rightarrow v = \sqrt{2gR}$$

$$v = \sqrt{2 \times 9.8 \times 6.4 \times 10^6} = 1.12 \times 10^4 \text{ m/s}$$

■(2) $\sqrt{2} = 1.41$ 倍

答 (1) 約 1.1×10^4 m/s (11.2 km/s) (2) $\sqrt{2}$ 倍

8-3 $T^2 \propto a^3$

■ケプラーの第3法則 $\frac{T^2}{a^3} = \text{一定}$

$$T \propto a^{3/2}$$

$$T = 4^{3/2} = 8 \text{ 倍}$$

答 8 倍

8-4 周期を与えて半径を出す

■円軌道の運動方程式に $v = \frac{2\pi r}{T}$ を入れる

$$G\frac{Mm}{r^2} = mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \rightarrow r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2}$$

$$\blacksquare GM = gR^2 = 9.8 \times (6.4 \times 10^6)^2 = 4.01 \times 10^{14}$$

$$r^3 = \frac{4.01 \times 10^{14} \times (8.64 \times 10^4)^2}{4\pi^2} = \frac{4.01 \times 10^{14} \times 7.46 \times 10^9}{39.5} = 7.58 \times 10^{22}$$

$$r = (7.58 \times 10^{22})^{1/3} = 4.2 \times 10^7 \text{ m}$$

地表からの高さは $4.2 \times 10^7 - 6.4 \times 10^6 = 3.6 \times 10^7 \text{ m}$ (約36000 km)。

答 約 4.2×10^7 m (地表からは約 3.6×10^7 m)

8-5 負の U の差を取る

■万有引力の位置エネルギーは $U = -G\frac{Mm}{r}$ (無限遠が基準)

$$W = U(r) - U(R) = -G\frac{Mm}{r} - \left(-G\frac{Mm}{R}\right)$$

$$W = GMm\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$$

$r > R$ なので正。符号を落とすと逆になるので、必ず $-$ をつけたまま計算する。

答 $W = GMm\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$

8-6 \$rv\$ 一定

■面積速度一定（ケプラーの第2法則）。近日点・遠日点では速度と動径が垂直なので

$$r_1 v_1 = r_2 v_2$$

$$r_1 = \frac{r_2}{3} \text{ より } v_1 = 3v_2$$

答 3 倍