テーマ 8　力学的エネルギー

今まで習ってきたエネルギーをまとめて、力学的エネルギーと定義する。

力学的エネルギー　覚える！

文字：大文字 $\boldsymbol{E}$　エネルギーの頭文字　単位：〔J〕 読み：ジュール

計算式　$E=$（運動エネルギー）＋（重力による位置エネルギー）＋（弾性力による位置エネルギー）

$$E=\frac{1}{2}mv^2+mgh+\frac{1}{2}kx^2$$

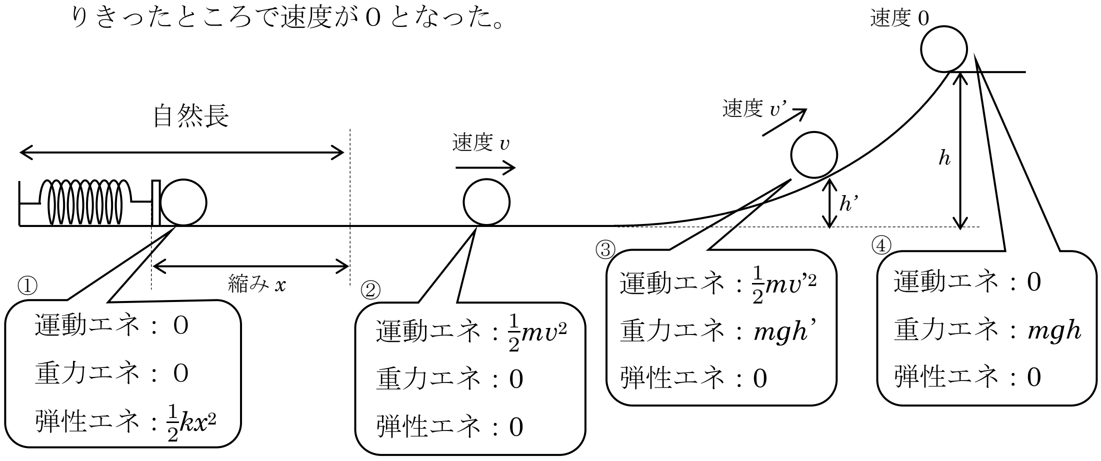
力学的エネルギー保存則

物体の運動が変化するとき、変化の前後で力学的エネルギーの大きさが変わらないという法則。＊ 前後で大きさが変わらないことを「保存する」という。

成立条件　覚える！ 証明は後ほど

非保存力が仕事をしないこと

モデル　ばねに物体を押し当てて縮め、手を離すと、物体は発射されて、高さ h の斜面を登りきったところで速度が 0 となった。



吹き出しで計算されているエネルギーの合計が、力学的エネルギーであり、この運動での力学的エネルギーは、4 つの場面で全て保存されているのだ。式で示すと、

$$E_{①}=E_{②}=E_{③}=E_{④}$$

$$\boxed{0+0+\frac{1}{2}kx^2}=\boxed{\frac{1}{2}mv^2+0+0}=\boxed{\frac{1}{2}mv'^2+mgh'+0}=\boxed{0+mgh+0}$$

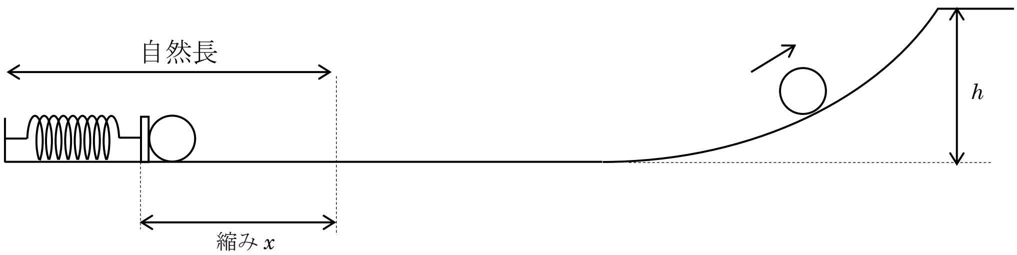
問題 11 力学的エネルギー保存則

ばね定数 k のばねに板をつけ、その板に質量 m の物体を押し当て、ばねを x だけ縮め手を離す。すると、質量 m の物体は板から離れ、水平な面を進んだのち、高さ h の斜面を上った。以下の問いに答えよ。ただし、重力加速度を g とする。

(1) 物体が板から離れるときの速度はいくらか。

(2) 物体が斜面を上りきらない場合、物体の最高点の高さはいくらか。

(3) 斜面を上りきるためには、ばねをどれだけ縮めればよいか。



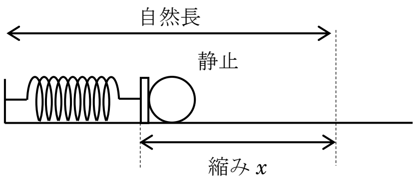
問題 11 解答 (1) $\sqrt{\dfrac{k}{m}}\,x$　(2) $\dfrac{kx^2}{2mg}$　(3) $\sqrt{\dfrac{2mgh}{k}}$

問題 11 解説 前と後をしっかり整理して作図し、式を立てよう。

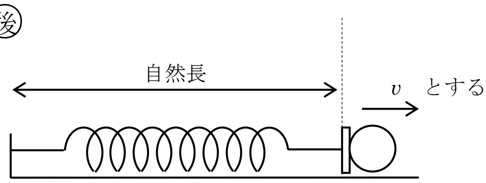
(1) ここで、物体が板から離れるとき ⇒ ばねが自然長になったときとなる。

よって前と後の設定は以下のようになる。

前



後



前 の力学エネを計算すると、

運+重+弾

$$0+0+\frac{1}{2}kx^2$$

後の力学エネを計算すると、

運+重+弾

$$\frac{1}{2}mv^2+0+0$$

力学的エネルギー保存則の立式　前 = 後 をすると、

前 = 後

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

v について解いて、

$$v=\sqrt{\frac{k}{m}}\,x$$

(2) 後は、物体が坂の最高点に達する瞬間(途中で静止してしまう瞬間)、前は一番最初の、ばねが縮んでいるときとする。

前の力学的エネルギーは

$$0+0+\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}kx^2$$

後の力学的エネルギーは、

$$0+mgh+0=mgh$$

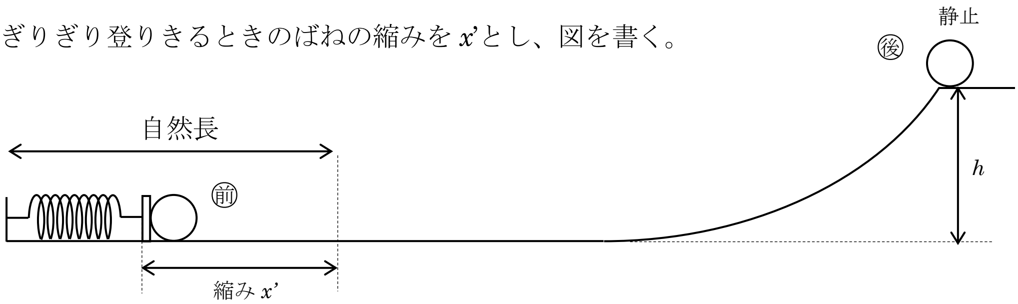
よって、前 ＝ 後の式を立てると、$\frac{1}{2}kx^2=mgh$

問われている h について解いて、$h=\frac{kx^2}{2mg}$

＊$\boxed{\text{別解}}$ 前問(1)の最後の場面である、球がばねから離れる瞬間を前と設定してもよい。どこの段階でも力学的エネルギーは保存されているので同じ結果になるはずだ。やってみよう。

(3)『登りきるのにどれだけ縮めればいいか』という問題を、『ギリギリ登りきるときのばねの縮みはいくらか』という問題に読みかえればイメージしやすい。

ぎりぎり登りきるときのばねの縮みを x'とし、図を書く。



前の力学エネは

$$0+0+\frac{1}{2}kx'^2=\frac{1}{2}kx'^2$$

後の力学エネは

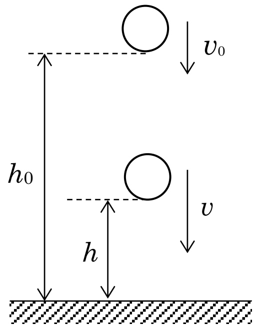
$$0+mgh+0=mgh$$

よって、前 ＝ 後の式を立てると、$\frac{1}{2}kx'^2=mgh$

問われている x'について解いて、$x'=\sqrt{\frac{2mgh}{k}}$

問題 12 力学的エネルギー保存則の証明①

力学的エネルギー保存則は、エネルギーの原理から導かれる。以下の文章の空欄に適切な式を入れ、保存則を導いてみよう。



空中で落下する物体が、地面から高さ h_0 の高さを、速度 v_0 で通過した。その後落下を続け、高さ h の点を速度 v で通過した。

STEP① 重力による仕事 $W_{重力}$ を、位置エネルギーの変化から求める。

重力による仕事 $W_{重力}$ = 重力による位置エネルギーの減少量（前－後）なので

$W_{重力}$ = ア ＊地面を基準面とする。

＊ 減少量 ＝前−後という計算についてはP243参照

STEP② エネルギーの原理の式を立てる。

前運動エネルギー ＋ 仕事 ＝ 後運動エネルギー

イ ＋ ウ ＝ エ

STEP③ 式を変形し、前力学エネ ＝ 後力学エネ という関係にしてみる。

$\underbrace{\text{オ} + \text{カ}}_{\text{前の力学エネ}} = \underbrace{\text{キ} + \text{ク}}_{\text{後の力学エネ}}$

このように、運動エネルギーと重力エネルギーの合計が、前と後で変わっていない、という公式が出来上がる。

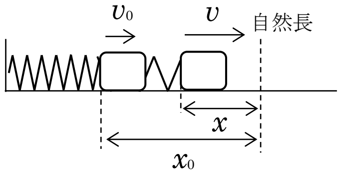
「重力による仕事 $W_{重力}$」の部分を「重力による位置エネルギー」として、式の中で扱ったのが、力学的エネルギー保存則なのだ。

$\boxed{\text{問題 12 解答}}$　ア　$mgh_0 - mgh$　　イ　$\frac{1}{2}mv_0{}^2$　　ウ $mgh_0 - mgh$　　エ　$\frac{1}{2}mv^2$

オ　$\frac{1}{2}mv_0{}^2$　　カ mgh_0　　キ $\frac{1}{2}mv^2$　　ク　mgh

$\boxed{\text{問題 13}}$ 力学的エネルギーの証明②

ばね定数が k のばねの一端を壁に接続し、もう一方の端に質量 m の物体をくくりつけた。ばねを自然長から x_0 縮めて速度 v_0 で勢いをつけて物体を動かした。縮みが x $(< x_0)$ となったときの物体の速度を v とする。



(1) ばねの縮みが x_0 から x に変わるまでの間に、ばねが物体にした仕事 $W_{ばね}$ はいくらか。

(2) ばねの縮みが x_0 から x に変わるまでの間のエネルギーの原理の式をたてよ。

(3) 前問(2)の式を変形し、左辺を前力学エネ、右辺を後力学エネ、とし、力学的エネルギーが保存していることを示せ。

$\boxed{\text{問題 13　解答}}$　(1) $\frac{1}{2}kx_0{}^2 - \frac{1}{2}kx^2$　(2) $\frac{1}{2}mv_0{}^2 + \frac{1}{2}kx_0{}^2 - \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2$

(3) $\frac{1}{2}mv_0{}^2 + \frac{1}{2}kx_0{}^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$

$\boxed{\text{問題 13　解説}}$

(1) 弾性力による位置エネルギー $\frac{1}{2}kx^2$ の減少量だけ、ばねは物体に仕事をする。

減少量は前－後で計算し、ばねのした仕事 $W_{ばね}$ は

$W_{ばね} = \frac{1}{2}kx_0{}^2 - \frac{1}{2}kx^2$

(2) 前の運動エネ　＋　$\boxed{\text{仕事}}$　＝　後の運動エネ　　という式を立てると

$$\frac{1}{2}mv_0{}^2 + \underbrace{W_{ばね}}_{\frac{1}{2}kx_0{}^2 - \frac{1}{2}kx^2} = \frac{1}{2}mv^2$$

となる。(1)で求めた $W_{ばね}$ を代入して

$$\frac{1}{2}mv_0{}^2 + \frac{1}{2}kx_0{}^2 - \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

(3) 前問(2)を変形し、左辺に前の力学的エネルギーを集めると、

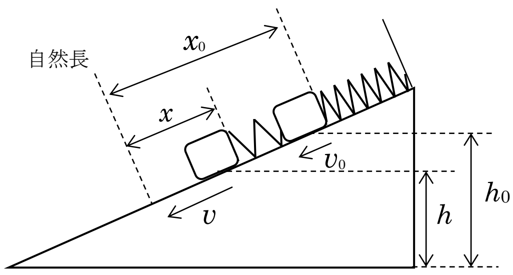
$$\frac{1}{2}mv_0{}^2 + \frac{1}{2}kx_0{}^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$$

となる。

前の力学的エネルギーと後の力学的エネルギーが等しいことが示せる。

問題 14 応用 力学的エネルギー保存則の証明③

斜面の上端にばね定数が k のばねの一端を接続し、もう一方の端に質量 m の物体をくくりつけた。ばねを自然長から x_0 縮めて速度 v_0 で物体を動かした。縮みが $x\ (< x_0)$ となったときの物体の速度を v とする。また、重力加速度の大きさを g とし、最初の物体の高さを h_0、あとの物体の高さを h とする。



(1) 物体が v_0 から v になるまでに、重力が物体にした仕事 $W_{重力}$ と、ばねが物体にした仕事 $W_{ばね}$ をそれぞれ求めよ。

(2) エネルギーの原理の式をたてよ。

(3) 前問(2)の式を変形し、左辺を前力学エネ、右辺を後力学エネ、とし、力学的エネルギーが保存していることを示せ。

問題 14　解答

(1) $W_{重力}$: $mgh_0 - mgh$　　$W_{ばね}$: $\frac{1}{2}kx_0^2 - \frac{1}{2}kx^2$

(2) $\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0 - mgh + \frac{1}{2}kx_0^2 - \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2$

(3) $\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0 + \frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mgh + \frac{1}{2}kx^2$

問題 14　解説

(1) 位置エネルギーの減少分だけ、保存力（重力、弾性力）は仕事をする。

重力による位置エネルギー mgh の減少量を計算し、重力のした仕事 $W_{重力}$ は、

$W_{重力}: mgh_0 - mgh$

弾性力による位置エネルギー $\frac{1}{2}kx^2$ の減少量を計算し、ばねのした仕事 $W_{ばね}$ は、

$W_{ばね} = \frac{1}{2}kx_0^2 - \frac{1}{2}kx^2$

(2) 前の運動エネ ＋ $\boxed{仕事}$ ＝ 後の運動エネ　という式を立てると

$\frac{1}{2}mv_0^2 + W_{重力} + W_{ばね} = \frac{1}{2}mv^2$　となる。(1)で求めた W を代入し

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + \overbrace{mgh_0 - mgh} + \overbrace{\frac{1}{2}kx_0^2 - \frac{1}{2}kx^2} = \frac{1}{2}mv^2$$

(3) 前問(2)を変形し、左辺に前のエネルギーを集めると、

$\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0 + \frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mgh + \frac{1}{2}kx^2$　となる。

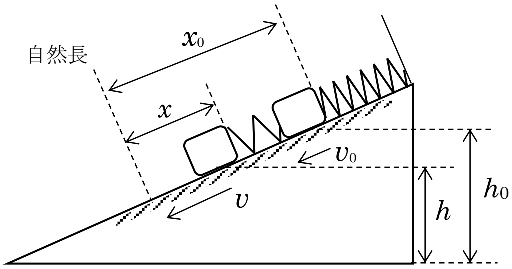
前の力学的エネルギーと後の力学的エネルギーが等しいことが示せる。

テーマ9 力学的エネルギーが保存しない場合

力学的エネルギー保存則には「非保存力が仕事をしない」という成立条件がある。非保存力が仕事してしまう場合、どのような式が成り立つか考えてみよう。

問題15 応用 力学的エネルギー保存則が成り立たない場合の考察

あらい斜面の上端にばね定数が k のばねの一端を接続し、もう一方の端に質量 m の物体をくくりつけた。ばねを自然長から x_0 縮めて速度 v_0 で物体を動かした。縮みが $x\ (< x_0)$ となったときの物体の速度を v とする。また、重力加速度の大きさを g とし、最初の物体の高さを h_0、あとの物体の高さを h、斜面と物体の間にはたらく摩擦力の大きさを R とする。



(1) 重力が物体にした仕事 $W_{\text{重力}}$ はいくらか。

重力は保存力なので、重力による位置エネルギーの減少量（前−後）で計算できる。

$W_{\text{重力}}$ = ア

(2) ばねが物体にした仕事 $W_{\text{ばね}}$ はいくらか。

弾性力は保存力なので、弾性力による位置エネルギーの減少量（前−後）で計算できる。

$W_{\text{ばね}}$ = イ

(3) 物体が動摩擦力からされる仕事 $W_{\text{摩擦}}$ はいくらか。

仕事の公式 $W =$ ウ より求める。

摩擦力の大きさは R、すべった距離が $(x_0 - x)$ なので

$W_{\text{摩擦}}$ = エ ＊進行方向と逆向きなので、負の仕事である。

(4) エネルギーの原理の式（前運動エネ＋ 仕事 ＝ 後運動エネ）を立式せよ。

物体はこの区間で、「弾性力」「摩擦力」「垂直抗力」「重力」の 4 つの力を受けているので、厳密に立式すると仕事が 4 つあることに注意する。

前運動エネ ＋ 仕事（$W_{重力}$ ＋ $W_{ばね}$ ＋ $W_{摩擦}$ ＋ $W_{垂直抗力}$） ＝ 後運動エネ

オ	＋	カ	＝	キ

(5) 前問(4)を変形して、左辺に前力学的エネルギー、右辺に後力学的エネルギーを集めよ。

問題の指示通りに変形すると、

前力学エネ ＋ 仕事（$W_{摩擦}$ ＋ $W_{垂直抗力}$） ＝ 後力学エネ

ク	＋	ケ	＝	コ

この結果は次のようにまとめられる！

力学的エネルギーは、非保存力による仕事分だけ変化する。

式にすると

前力学エネ ＋ $W_{非保存力}$ ＝ 後力学エネ

ここに注目！！

$W_{非保存力}$ が 0 ならば

前力学エネ ＝ 後力学エネ

これが、

力学的エネルギーの成立条件
「非保存力が仕事をしないこと」

を示している。

問題 15 解答　ア $mgh_0 - mgh$　イ $\frac{1}{2}kx_0^2 - \frac{1}{2}kx^2$　ウ Fx　エ $-R(x_0-x)$

オ $\frac{1}{2}mv_0^2$　カ $mgh_0 - mgh + \frac{1}{2}kx_0^2 - \frac{1}{2}kx^2 + \{-R(x_0-x)\} + 0$ ←(0 は $W_{垂直抗力}$である)

キ $\frac{1}{2}mv^2$　ク $\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0 + \frac{1}{2}kx_0^2$　ケ $\{-R(x_0-x)\} + 0$　コ $\frac{1}{2}mv^2 + mgh + \frac{1}{2}kx^2$

まとめ　エネルギーの 2 つの考え方

エネルギーの原理（運動エネルギーと仕事の関係）と、力学的エネルギーの式の 2 つがごちゃ混ぜになってしまう人が多いので、ここでまとめておこう。

エネルギーの原理（運動エネルギーと仕事の関係）

$$\text{前運動エネ} + \boxed{W_{\text{全部}}} = \text{後運動エネ}$$

力学的エネルギーの式（非保存力がはたらく場合や、保存則の式）

$$\text{前力学エネ} + \boxed{W_{\text{非保存力}}} = \text{後力学エネ}$$

＊非保存力が仕事をしない場合は、$W_{\text{非保存力}}$が 0 なので、前力学エネ＝後力学エネ
となり、力学的エネルギー保存則が成り立つ。

＊保存力とは、今のところ「重力」「弾性力」であり、それ以外の力は全て「非保存力」と考えてよい。摩擦力、張力、垂直抗力、人の力などは非保存力である。

＊保存力を仕事のパーツとして捉えるか、位置エネルギーのパーツとして捉えるかで、用いる式が変わってくる。どの物理現象も、両方の考え方で正しく立式できる。この問題は○○の式を使わなければいけない、というようなものではない。

問題 16 非保存力と力学的エネルギー保存則

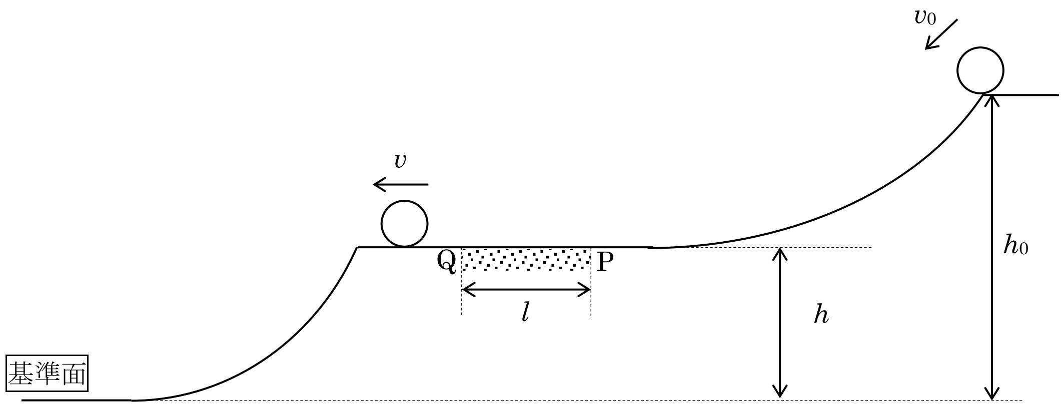
高さ h_0 の斜面から質量 m の物体を斜面に沿って速度 v_0 でスタートさせた。斜面はなめらかに高さ h で水平面につながっており、その水平面上の地点 P から地点 Q の区間だけ摩擦力がはたらく。PQ 間の距離は l、PQ 間の面と物体の動摩擦係数を μ'、重力による位置エネルギーの基準面を最下点の高さとして以下の問いに答えよ。ただし、図に示した高さを重力による位置エネルギーの基準面とし、重力加速度を g とする。

(1) 物体が PQ 間をすべる間に受ける摩擦力の大きさを答えよ。

(2) 物体が PQ 間をすべる間に、摩擦力からされる仕事 W_R はいくらか。

(3) 物体が Q 点を通過した後の速度 v を力学的エネルギーの式を立てて求めよ。

(4) 物体が Q 点を通過した後の速度 v をエネルギーの原理の式を立てて求めよ。



問題 16　解答　(1)　$\mu' mg$　　　(2) W_R : $-\mu' mgl$

(3) 立式： $\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0 + (-\mu' mgl) = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$　、 $v = \sqrt{{v_0}^2 + 2g(h_0 - h) - 2\mu' gl}$

(4) 立式： $\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0 - mgh + (-\mu' mgl) = \frac{1}{2}mv^2$　、 $v = \sqrt{{v_0}^2 + 2g(h_0 - h) - 2\mu' gl}$

問題 16　解説

(1) 動摩擦力の公式 $R = \mu' N$ を用いる。

N（垂直抗力）は、鉛直方向のつりあいから $N = mg$ となり、これを代入する。

$R = \mu' N = \mu' mg$

(2) 仕事の公式 $W = Fx$ を用いる。

進行方向と逆向きに摩擦力がはたらくので、負の仕事になることに注意し、

前問(1)の $R = \mu' mg$ を代入すると、

$W_R = -\mu' mgl$

(3) 力学的エネルギーの式『前力学エネ ＋ $\boxed{W_{\text{非保存力}}}$ ＝ 後力学エネ』を立式する。

$$\underbrace{\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0}_{\text{前力学エネ}} + \underbrace{(-\mu' mgl)}_{\boxed{W_{\text{非保存力}}}} = \underbrace{\frac{1}{2}mv^2 + mgh}_{\text{後力学エネ}}$$

＊ 垂直抗力もはたらいているが、仕事は 0 なので式に書いていない。

v について解いて

$v = \sqrt{{v_0}^2 + 2g(h_0 - h) - 2\mu' gl}$

(4) エネルギーの原理の式『前の運動エネルギー＋仕事＝後の運動エネルギー』を立式するために、重力のする仕事を求める。

重力は保存力であり、保存力による仕事は、「位置エネルギーの減少量」で計算ができることを利用する。

$W_{mg} = U_{\text{減少}} = mgh_0 - mgh$　　（減少量は前 － 後で計算）

これを用いて、エネルギーの原理の式を立式すると、

$$\underbrace{\frac{1}{2}mv_0^2}_{\text{前運動エネ}} + \underbrace{mgh_0 - mgh + (-\mu' mgl)}_{\boxed{W_{\text{全部}}}} = \underbrace{\frac{1}{2}mv^2}_{\text{後運動エネ}}$$

v について解いて、$v = \sqrt{{v_0}^2 + 2g(h_0 - h) - 2\mu' gl}$

ConcepTest 6 力学的エネルギー保存則

ばねを縮めて弾を撃ちだす銃のおもちゃで鉛直上向きに弾を打ち上げると、24 m の高さまで上がった。もう一度同じ銃を使い、同じ弾を打ち上げるが、ばねの縮みを半分にした。弾は何 m の高さまで上がるか。

(ア) 96 m　(イ) 48 m　(ウ) 24 m　(エ) 12 m　(オ) 6 m　(カ) 3 m

(キ) 解答には情報が足りない

ConcepTest 7 力学的エネルギー保存則の成立条件

次の(a)～(e)のシチュエーションで、力学的エネルギーが保存しているものを選べ。

(a) なめらかな曲面を物体がすべりおりる。

(b) ひもで天井からつりさげた物体を引き上げて手をはなす（振り子）。

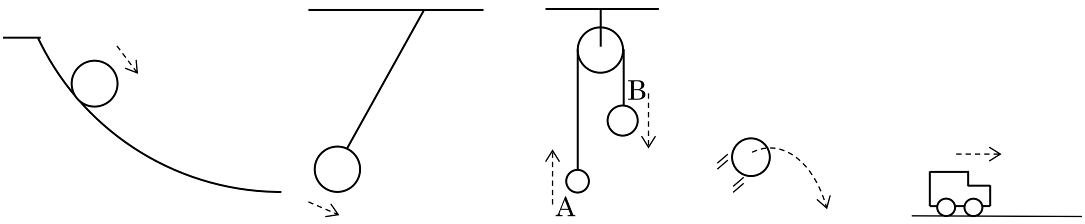
(c) 2 つの物体 A、B をひもでつなぎ、滑車を通してつりさげ、手をはなす。このときの物体 A の力学的エネルギー。ただし、物体 A は上昇し、物体 B は下降している。

(d) 2 つの物体 A、B をひもでつなぎ、滑車を通してつりさげ、手をはなす。このときの物体 A と B の力学的エネルギーの合計。ただし、物体 A は上昇し、物体 B は下降している。

(e) 物体が空中を放物運動している。

(f) なめらかな水平面上で台車を手で押して加速させる。

（f−Ex）粗い水平面上で台車を手で押して、一定の速度で進ませる。



(a)　(b)　(c) (d)　(e)　(f)

ConcepTest 6 解答　オ

ConcepTest 6 解説　この運動ではたらく力は、弾性力と重力のみで、非保存力の仕事はない。よって力学的エネルギーが保存する。ばねの縮みを x、最も球が跳ね上がった時の高さを h として、力学的エネルギー保存の式を立てると

$\frac{1}{2}kx^2 = mgh$　となり、h について解くと、

$h = \frac{k}{2mg}x^2$　となる。

この式より x が半分になった場合、h は $\frac{1}{4}$ になるとわかる。よって、24 m の $\frac{1}{4}$ である 6.0 m

ConcepTest 7 解答　(a) (b) (d) (e) (f−Ex)

ConcepTest 7 解説　成立条件は、非保存力が仕事をするかどうかである。

(a) 非保存力として、垂直抗力がはたらいている。しかし、曲面上で進行方向と常に垂直な向きにはたらく力なので、仕事はしない。よって力学的エネルギーは保存する。

(b) 非保存力として、張力がはたらいている。しかし、振り子の軌道では、張力は常に進行方向と垂直にはたらいているので、仕事はしない。よって力学的エネルギーは保存する。

(c) 非保存力として、張力がはたらいている。さらにこれは進行方向と同じ向きなので正の仕事をしている。よって力学的エネルギーは保存しない（増えている）。

(d) 前問(c)の通り、非保存力である張力が仕事をしているので、単体では力学的エネルギーが保存しない。しかし、2 物体合わせると事情が変わってくる。張力の大きさを T、移動距離を x とおくと、A がされる $W_{非保存力}$は＋Tx　（力学的エネルギーが Tx 増えている）。B がされる $W_{非保存力}$は−Tx　（力学的エネルギーが Tx 減っている）。よって、A と B の力学的エネルギーを合計して考えると、変化はプラマイ 0 になり、力学的エネルギーは保存するといえる。

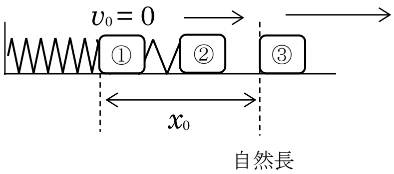
(e) 放物運動中は、保存力である重力しかはたらいていないので、力学的エネルギーは保存する。

(f) 非保存力として、手の力がはたらいている。さらに、これは進行方向と同じ向きなので正の仕事をしている。よって力学的エネルギーは保存しない（増えている）。

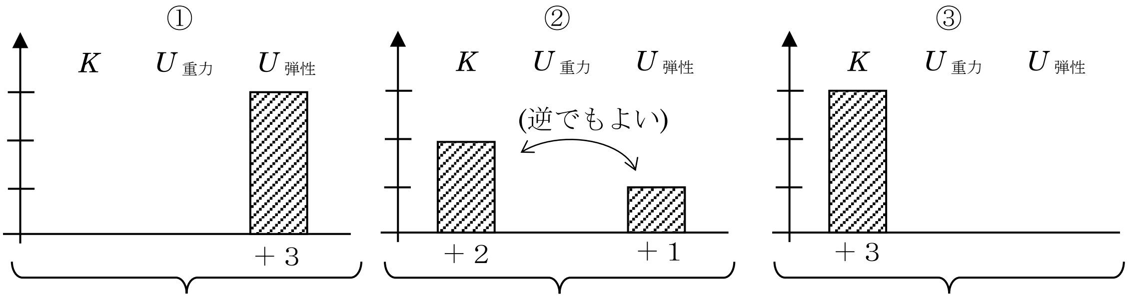
(f−Ex) 手の力（非保存力）の正の仕事と、摩擦（非保存力）による負の仕事があるので、成立条件は満たしていない。しかし、台車が一定の速度で進んでいて、高さも変化していないことから、力学的エネルギーは保存しているといえる。正と負の仕事がちょうど打ち消し合っているのだ。（成立条件は満たしていないが、たまたま変化していない）

問題 17 力学的エネルギー保存則とエネルギーダイアグラム

前と後で力学的エネルギーが保存する、というのは、エネルギーの種類が変換されているとイメージすることが重要である。エネルギーの変換をイメージするために、『エネルギーダイアグラム』を書いてみよう。例えば、ばねで物体を押し出す場合を考える。

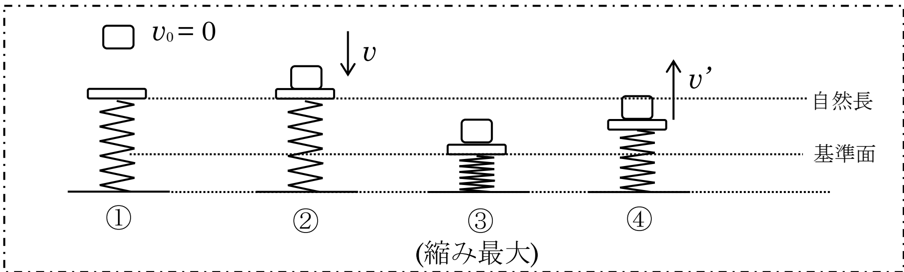


このとき運動エネルギーを K、重力による位置エネルギーを $U_{重力}$、弾性力による位置エネルギーを $U_{弾性}$として、①、②、③の位置でのエネルギーダイアグラムを下図のようになる。

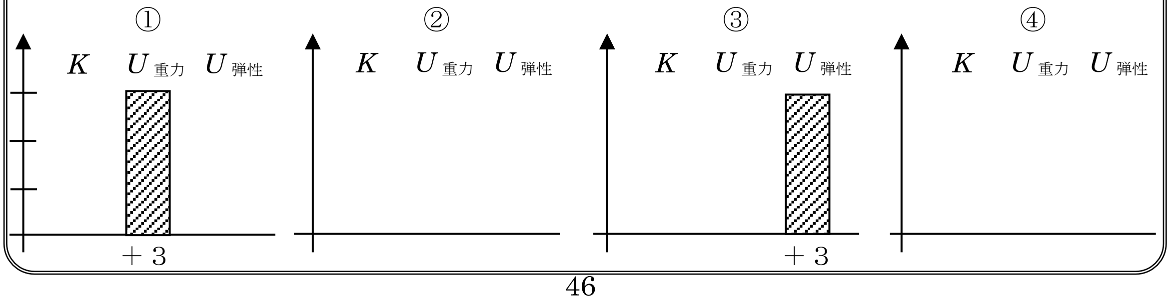


3 種類のエネルギーの合計（力学的エネルギー）はどの時間でも＋3 となる。

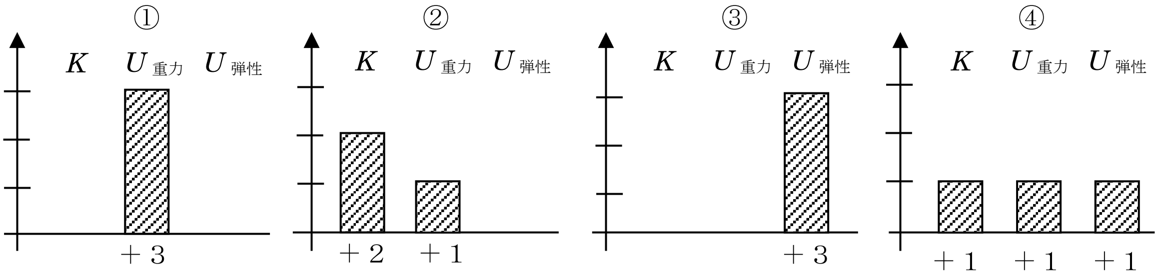
$\boxed{問}$ ここで、空中から落下させた物体を、板つきばねで受け止めた場合を考える。



以下は、縮みが最大のときの高さを、重力による位置エネルギーの基準としたときの、エネルギーダイアグラムである。①、③は記入されているので、②、④のエネルギーダイアグラムの概形を書け。



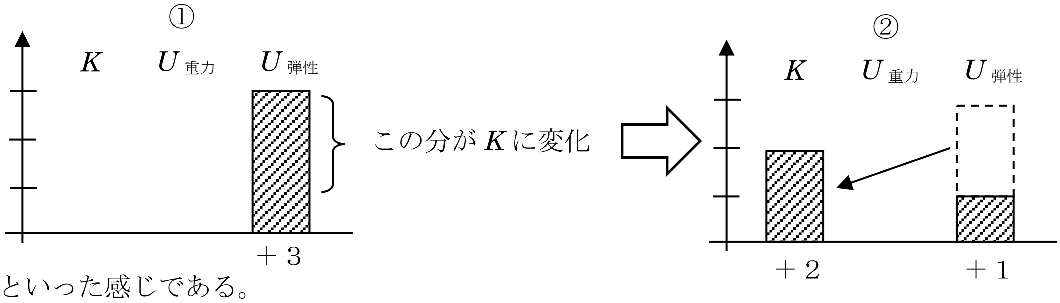
問題 17 解答



＊（＋１　＋２でもよい）

問題 73 解説　エネルギーダイアグラムで、エネルギーの変換のイメージを湧かせよう。

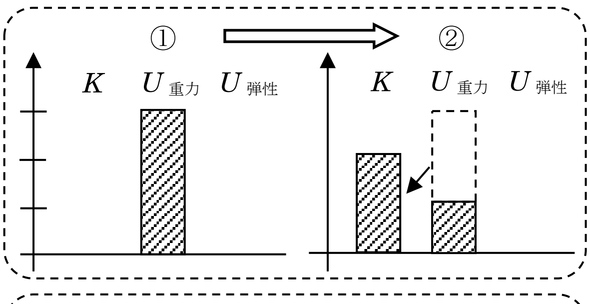
たとえば、問題文に出ていたモデルの、ばねで物体を押し出す場合のエネルギー変化は、

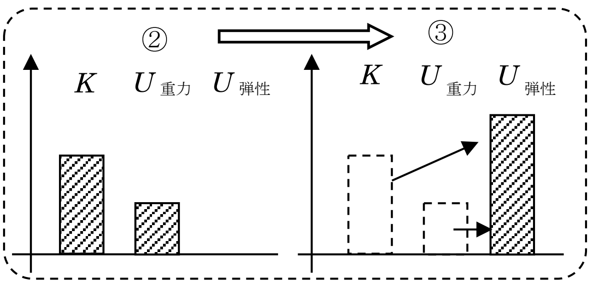


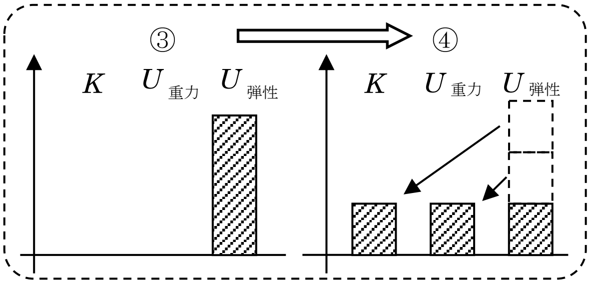
といった感じである。

問の場合、重力による位置エネ $U_{重力}$が運動エネルギーK に変換され、③のときには弾性力による位置エネ $U_{弾性}$に変わっていき、④では全種類のエネルギーを少しずつもっている状態になる。　　＊基準面より上なので、②のときも $U_{重力}$が少しあることに注意が必要。

①→②のとき、②→③のとき、③→④のとき、それぞれのエネルギーの変換を下図に示したので、自分でも意識できるようにしよう。







＊非保存力が仕事をする場合のエネルギーダイアグラムでは、全体の合計量が減っていくのだ。