30.

仕事とエネルギー　＜エネルギーとは物体を動かす能力＞

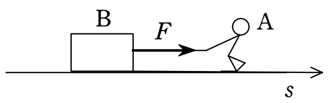
＜仕事とはエネルギーを使うこと＞

机の上の本にエネルギーはない→いつまでたっても動かない。

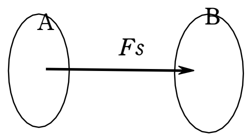
上に持ち上げた本はエネルギーを持つ→すぐ落下（動く）する

(1)　重さWの物体を高さh持ち上げた物体の持つエネルギーの大小を比較することにより持ち上げた物体が持つエネルギーが力（重力）と距離（高さ）の積に比例していることを示せ

(2)　人Aが物体Bに対して力Fを加えて距離s動かした。これを



「A（力F）はBに対してFsの仕事をした」という。これはFsのエネルギーがAからBへ移動したことを示している。エネルギーの流れを図に描くと次のようになる。

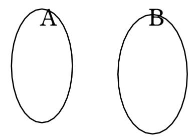


この例にならって次の各場合のエネルギーの流れを図示せよ。負の仕事は方向を考えて正のエネルギーの流れとして答えよ。

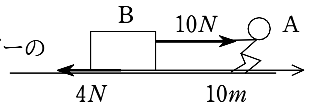
①　AはBからFsの仕事をされた

②　AはBに$-Fs$の仕事をした

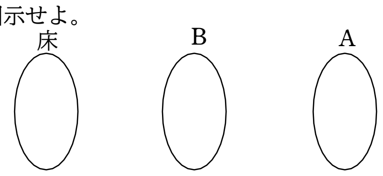
③　AはBから$-Fs$の仕事をされた。



(3)　右図は人Aが10Nの力で10m運ぶとき摩擦力が4N働いていたことを示している。



①　上の図にならってAとBと床の間でのエネルギーの流れを図示せよ。



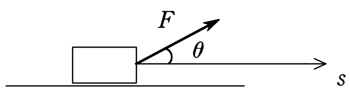
②　この運動で仕事終了後この物体が持っているエネルギー及び床にわたったエネルギーはそれぞれいくらか。また、このエネルギーをなんと呼ぶか。

(4)　③で垂直抗力及び重力は仕事をしていないが、各力の能力に注目してその理由を簡単に述べよ。

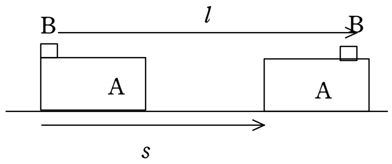
(5)　図のように物体を角度θの方向に力Fで距離s動かすときの仕事は

$W=Fs\cos\theta$

であることを示せ。



(6)　静止していた物体A（質量M）上で物体B（質量m）に初速v_0を与えると、物体Bに対して摩擦力がした仕事は摩擦力をFとすると、全仕事FlのうちFsは物体Aの運動エネルギーに$F(l-s)$は摩擦による発熱であることを証明せよ。



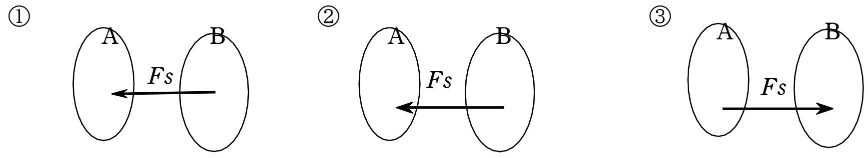
解説

(1)　持ち上げる高さが2倍になれば物体のエネルギー量も2倍になり、同じ質量の物体を2個持ち上げればエネルギー量は2倍となる。よって、運ぶ距離と力の積に比例している。持ち上げた物体の持つエネルギーは人からエネルギーを渡されたと考えることができる。このとき人から渡されたエネルギーは人が使った力と動かした距離に比例していることになる。このように物体に力を加えて動かすと、その物体にエネルギーを与えることができる。このように力を加えてエネルギーを与えることを仕事といい、その大きさは力×距離であらわされることになる。よって、仕事＝力×距離と定義されている。

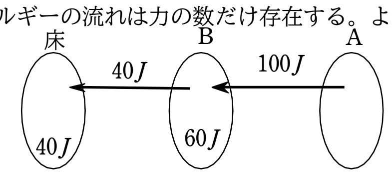
(2)　「仕事をする」ということは自分の持っているエネルギーを相手に与えることである。「仕事をされた」ということはその逆でエネルギーをもらったということである。

負の仕事はエネルギーの流れを逆にすればよい。

正式な定義によると仕事をするのは「力」であるが、AがBに力を及ぼしたとすると、エネルギーはAからBに流れる。そのためにAが仕事したとしても差し支えない。



(3)　①　エネルギーの流れは力の数だけ存在する。よってこの場合は２つある。

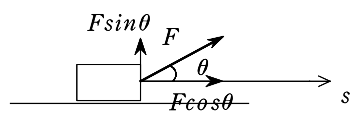


②　Bが持つエネルギーは運動エネルギーで60J

床にわたったエネルギーは熱エネルギーで40J

(4)　力はその力の方向に物体を動かす能力を持つ。この物体は鉛直方向には動いていない。そのため、垂直抗力及び重力はその能力を発揮していないことになる。つまり、仕事をしていない。

(5)　分解合成した力は元の力とまったく同じ能力を有するので、分解合成は自由である。力Fを分解すると、

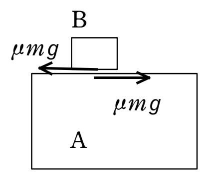


鉛直方向の力は仕事しない。よって仕事をしたのは水平方向の力のみとなる。

$W=F\cos\theta\times s=Fs\cos\theta$

(6)　動摩擦力をFとすると、

A,Bの加速度をそれぞれa、bとし、力が物体A、Bに関して運動方程式を立てると、



A：　$F=Ma$

B：　$-F=mb$

となる。

これを解くと、$a=\dfrac{F}{M}$、$b=-\dfrac{F}{m}$

物体A,Bのt秒後の速度は$v=v_0+at$より、

$v_A=0+\dfrac{F}{M}t$、$v_B=v_0-\dfrac{F}{m}t$

t秒間の移動距離は$s=v_0t+\dfrac{1}{2}at^2$より

$x_A=s=0\cdot t+\dfrac{1}{2}\dfrac{F}{M}t^2=\dfrac{1}{2}\dfrac{F}{M}t^2$、　$x_B=l=v_0t-\dfrac{1}{2}\dfrac{F}{m}t^2$

物体Bの運動エネルギーの差より、

$W_B=\dfrac{1}{2}mv_0{}^2-\dfrac{1}{2}mv_B{}^2=\dfrac{1}{2}mv_0{}^2-\dfrac{1}{2}m\left(v_0-\dfrac{F}{m}t\right)^2=Fv_0t-\dfrac{1}{2}\dfrac{F^2}{m}t^2$

また、物体Bが仕事によって失われたエネルギーは

$Fl=Fx_B=F\left(v_0t-\dfrac{1}{2}\dfrac{F}{m}t\right)=W_B$

となり両者は等しい。つまり、物体Bは仕事によって運動エネルギーが失われたことになる。

物体Aが得た運動エネルギーは

$\dfrac{1}{2}Mv_A{}^2=\dfrac{1}{2}\dfrac{F^2}{M}t^2$

物体Aがされた仕事は

$Fs=F\cdot\dfrac{1}{2}\dfrac{F}{M}t^2$

となり、この両者も等しい、よって、Fsは物体Aの運動エネルギーになっている。

物体Bが失った運動エネルギーと物体Aが得た運動エネルギーは等しくない。その差を求めると、

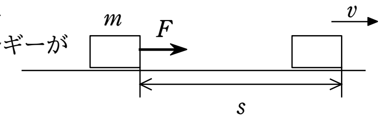
$Fl-Fs=F(l-s)$となる。

これが発熱によって失われたエネルギーである。

31.

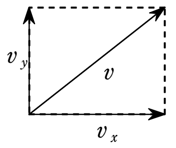
運動エネルギー　＜運動している物体が持つエネルギー＞

⑴　静止している質量mの物体に力Fを加えて距離sだけ動かしたとき、物体の速さがvになった。このことを利用して、運動エネルギーが$\frac{1}{2}mv^2$で表されることを示せ。



⑵　上の問題で物体が初速度を持つとき、$\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0{}^2=Fs$であることを示せ。

⑶　ある物体の速度を水平方向と鉛直方向に分解したとき、この物体の運動エネルギーは水平方向の運動エネルギーと鉛直方向の運動エネルギーの和であることを証明せよ。



解説

⑴　この物体はFsの仕事をされているため、Fsのエネルギーをもらったことになる。

運動方程式$F=ma$より、この物体の加速度は$a=\frac{F}{m}$である。また、

加速度の公式、$v^2-v_0{}^2=2as$より、$v^2=2\cdot\frac{F}{m}\cdot s$が成立。

これにより、$Fs=\frac{1}{2}mv^2$となる。

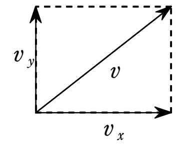
つまり、この物体は$\frac{1}{2}mv^2$のエネルギーを持っていることになる。これは運動エネルギーに他ならない。

⑵　$\frac{1}{2}mv_0{}^2$のエネルギーを持っていた物体がFsの仕事をされた（Fsのエネルギーをもらった）ところ、$\frac{1}{2}mv^2$のエネルギーになったということであるから、

$\frac{1}{2}mv_0{}^2+Fs=\frac{1}{2}mv^2$が成立。

よって、$\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0{}^2=Fs$

⑶　図より、三平方の定理が成立。



よって、$v_x{}^2+v_y{}^2=v^2$

両辺に$\frac{1}{2}m$をかけると、

$\frac{1}{2}mv_x{}^2+\frac{1}{2}mv_y{}^2=\frac{1}{2}mv^2$

これは、運動エネルギーは水平方向の運動エネルギーと鉛直方向の運動エネルギーの和であることを意味している。

　放物運動の最高点の高さを求める場合、鉛直方向の運動エネルギーが重力の位置エネルギーに変わっている事を利用することもできる。

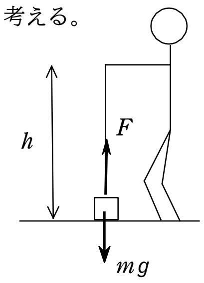
32.

重力の位置エネルギー　＜重力によって空間にたまるエネルギー＞

位置エネルギーとは外力が基準の位置から物体をゆっくり（つりあいの力で）運ぶ仕事をいう

⑴　人Aが物体を力Fで高さhだけ持ち上げる場合を考える。

この人がした仕事はFhで、重力（地球）がした仕事は$-mgh$である。



①　このとき、このA、物体、地球間のエネルギーの流れを図示せよ。

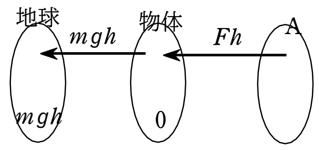
②　物体を持ち上げた後この物体が持つ運動エネルギーが0のとき、エネルギーの流れはどうなるか、また、Fとmgにはどのような関係が成り立つか。

これを利用して、重力の位置エネルギーが外力がつりあいの力で運ぶ仕事と等しいことを示せ。

③　位置エネルギーはどこにたまっているエネルギーと考えることができるか。

解説

⑴　①



②　上の図より、運動エネルギーが0ということは、Aの消費したエネルギーはすべて地球に蓄えられることになる。この場合$Fh=mgh$となり、$F=mg$の関係が成り立つ。

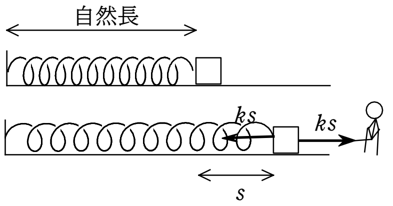
地球に蓄えられるエネルギーが重力による位置エネルギーでそれを求めるには外力Fで運ぶ仕事と等しいことになるので、外力がつりあいの力で物体を運ぶ仕事を求めればよいことになる。

③　重力の位置エネルギーの場合エネルギーの行き先を考えると、地球が持つエネルギーとなる。では地球のどこにたまったのであろうか。物体を持ち上げる前と後では物体の下に空間ができているかいないかの違いしかない。よって、重力の位置エネルギーは物体の下の空間にたまるエネルギーと考えても良い。

33.

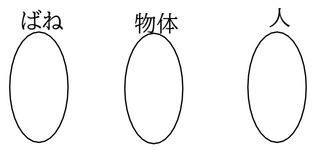
ばねの位置エネルギー　＜ばねにたまる位置エネルギー＞

⑴　物体にばね定数kのばねをつなぎ自然長より距離sだけゆっくりと伸ばした。



①　この人のした仕事は$\frac{1}{2}ks^2$であることを示せ。

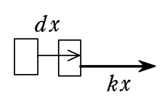
②　このとき、人、物体、ばねの間のエネルギーの流れを図示せよ。



③　ばねの位置エネルギーが$\frac{1}{2}ks^2$であることを示せ。

解説

⑴　①　物体を動かすときの仕事は動かしている間の力が一定でなければ$W=Fs$の公式は使えない。



よって、$ks\times s$とはならない。

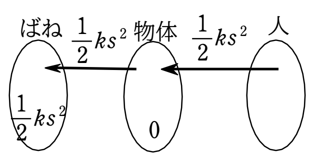
この場合力の大きさが変化するので、少しの距離dxの間には力kxの大きさは変化しないとしてその間の仕事を求める。

それを$x=0$から$x=s$まですべて加えれば全体の仕事が求められる。

よって、$W=\int_0^s kx\,dx=\left[\frac{1}{2}kx^2\right]_0^s=\frac{1}{2}ks^2$

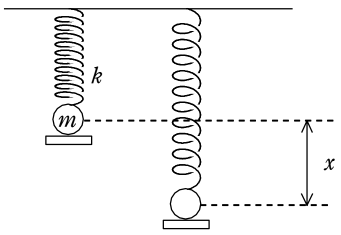
これがこの人がした仕事である。

②

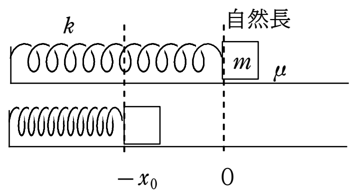


③　上の図により、物体の運動エネルギーが0であるから、この人がした仕事（消費したエネルギー）は、すべてばねにたまる。よって、ばねにたまったエネルギーは$\frac{1}{2}ks^2$である。

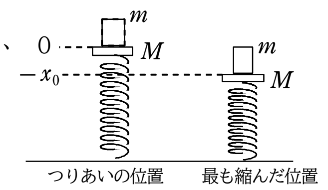
⑵　ばね定数kのばねに質量mの
おもりをつけ板で支えながらゆっくり
下ろすとx下ろしたところで板とおも
りが離れた。
以下の仕事を求めよ。
①　重力のした仕事
②　ばねの弾性力がした仕事
③　垂直抗力のした仕事



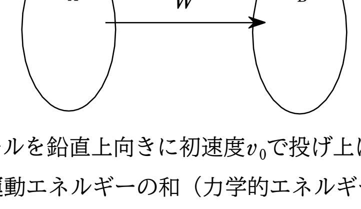
⑶　動摩擦係数μの水平面で
ばね定数kのばねに質量mのおもり
を押しつけx_0縮めてから離した。
次のことを示せ。
①　自然長に戻る前に止まる条件は
$\frac{2\mu mg}{k}>x_0$であることを示せ。
②　物体がばねから離れる位置は自然長の位置であることを示せ。
③　おもりが最大速度になる位置はつりあいの位置で　$x=\frac{\mu mg}{k}$であることを示せ。



⑷　ばね定数kのばねに質量Mの台に
質量mのおもりを乗せつりあいの位置より、
x_0縮めてから手を離した。
①　おもりが台から離れる位置は
自然長の位置であることを示せ。
②　おもりが最大速度になる位置は
つりあいの位置であることを示せ。

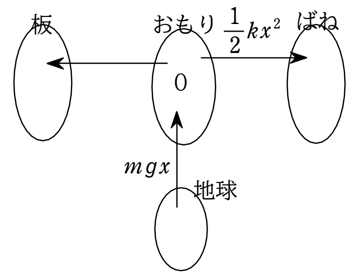


34.
エネルギー保存則
⑴　AはE_AのエネルギーをBはE_Bのエネルギーを持っていた。今、AがBに対してWの仕事をしたとき、A、Bの持つエネルギーがどのように変化したかを示し、Aの持つエネルギーとBの持つエネルギーの和に変化がないことを証明せよ。



⑵　質量mのボールを鉛直上向きに初速度v_0で投げ上げた。このときの重力による位置エネルギーと、運動エネルギーの和（力学的エネルギー）は一定であることを証明せよ。

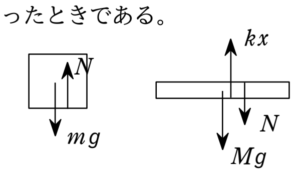
⑵　エネルギーの流れは次のごとくである。
①　重力がした仕事は$W=Fs=mgx$
でエネルギーは地球からおもりの方向に
mgx　流れている。
②　ばねの弾性力がした仕事は、ばねに
$\frac{1}{2}kx^2$エネルギーがたまっているのであるから、
おもりからばねの方向に$\frac{1}{2}kx^2$のエネルギーが
流れている。よってばねの弾性力がした仕事は、
$-\frac{1}{2}kx^2$



③　垂直抗力がした仕事は、おもりのエネルギーの授受から考えると良い。
おもりは地球からmgxのエネルギーをもらい、ばねに$\frac{1}{2}kx^2$のエネルギーを供給している。垂直抗力のした仕事は力の向きと移動方向が逆であるから負の仕事である。
これはエネルギーの流れが、おもりから板の方向であることを意味している。
おもりの運動エネルギーは0であるから、おもりがもらったエネルギーと与えたエネルギーは等しい。よって、垂直抗力によって板に流れたエネルギーをEとすると、
$mgx=E+\frac{1}{2}kx^2$
このため、垂直抗力のした仕事は負であることを考慮し、$W=-E=\frac{1}{2}kx^2-mgx$
となる。
積分で導くこともできる。　垂直抗力は下向きを正として$mg-kr$である。
移動距離をdrとすると、
$W=\int_0^x-(mg-kr)dr=\frac{1}{2}kx^2-mgx$

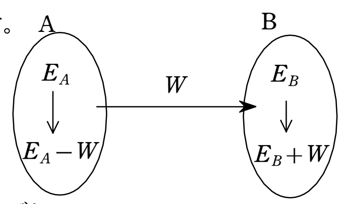
⑶　①　静止摩擦力は常につりあっているために、ある範囲（最大摩擦力以下）であるなら少し場所がずれても静止できる。そのため、力のつりあいで静止位置を求めることはできない。この場合は運動エネルギーが0になる条件で求める。
　ばねの位置エネルギーがすべて摩擦に使われたときが静止である。静止したとき、ばねが自然長とは限らないので、ばねの位置エネルギーが少し残っている。自然長よりxの位置で静止したとすると、
$\frac{1}{2}k{x_0}^2=\mu mg(x_0-x)+\frac{1}{2}kx^2$　　$x>0$
$\frac{1}{2}k(x_0+x)=\mu mg$　　$x=\frac{2\mu mg}{k}-x_0>0$
よって、　$\frac{2\mu mg}{k}>x_0$
②　ばねから離れるのは、ばねとの間に働く力が0になったときである。よって、自然長である。
③　最大速度になるのは力がつりあっている場所である。力がつりあっていないならば必ず速度変化が起こり、その直前か直後かはもっと速いはずである。よって、
$kx=\mu mg$　　$x=\frac{\mu mg}{k}$

⑷　①　おもりが台から離れる位置は垂直抗力が0になったときである。
台と物体は同じ加速度で運動している。
台　　　$ma=N-mg$
おもり　$Ma=kx-N-Mg$
条件　　$N=0$
これより、　$x=0$　　よって自然長の位置である。



②　おもりが最大速度になるのは力がつりあっている位置である。すなわちつりあいの位置である。

解説
⑴　AがBに対してWの仕事をするということは、
Aのエネルギーが BにW移動したということを示す。
Aの持つエネルギーはE_AからE_A-Wに変化し、
Bの持つエネルギーはE_BからE_B+Wに変化する。
Aが仕事する前のAとBとのエネルギーの和は
E_A+E_Bであらわされる。

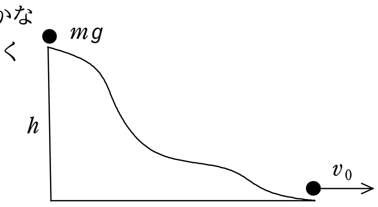


　また、Aが仕事した後のA,Bのエネルギーはそれぞれ、
E_A-WとE_B+Wであるから、その和は$(E_A-W)+(E_B+W)=E_A+E_B$となり、
AとBの持つエネルギーの和は仕事する前後で変わらない。
これをエネルギー保存則という。
⑵　加速度三公式より投げてからt秒後の速度vと高さhは

(3)　初速度０、質量mの物体が落差hの滑らかな曲面を滑り降りるとき、曲面の形に関係なく

$\frac{1}{2}mv_0{}^2=mgh$

が成立することを示せ。



$$\begin{cases} v=v_0-gt \\ h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

運動エネルギーKは、$K=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m(v_0-gt)^2$

重力による位置エネルギーUは$U=mgh=mg\left(v_0t-\frac{1}{2}gt^2\right)$

力学的エネルギー$=K+U=\frac{1}{2}m(v_0-gt)^2+mg\left(v_0t-\frac{1}{2}gt^2\right)=\frac{1}{2}mv_0{}^2=$一定

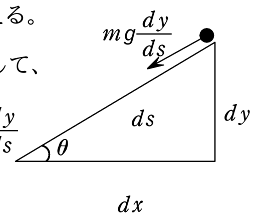
となり、tに関係なくエネルギー保存則は成立している。

(3)　すべての曲面は短い区間を取れば斜面である。まず、その微小区間を考えることにする。水平の長さdx、高さdy、長さdsの斜面を考える。

頂角をθとすると、$\sin\theta=\frac{dy}{ds}$であることに注意して、

重力の斜面方向成分を求めると、$mg\sin\theta=mg\frac{dy}{ds}$

となる。



　よって、重力のした仕事は$W=Fs=mg\frac{dy}{ds}\cdot ds=mgdy$である。つまり、物体は重力によって、$mgdy$のエネルギーを得たことになる。これが運動エネルギーになるのである。これが重力による位置エネルギーの解放である。このエネルギーは変位の鉛直成分（dy）のみに依存し、dxには一切関係がない。曲面の場合はこの微小な斜面が連続してつながっていると考えてよく、しかも、変位の鉛直成分のみ位置エネルギーに関係しているのである。このことから、どのような曲面でもその落差hのみで重力による位置エネルギーを計算してもよいことになる。

　すなわち、重力による位置エネルギーmghが運動エネルギーに変化する。よって、曲面の形に関係なく$\frac{1}{2}mv_0{}^2=mgh$が成立する。

35.

仕事率

　仕事率は単位時間の仕事量と定義されている。物体を一定の力Fで力の向きに一定の速さvで動かしたときの仕事率がFvであることを示せ。

(解説)

定義より、仕事率は$P=\frac{W}{t}$である。また、$W=Fs$であるから、

$P=\frac{W}{t}=\frac{Fs}{t}=F\frac{s}{t}=Fv$

この場合一定の力を加えているのに速度が一定であるため、この物体に逆方向にFの力がかかっていて、つりあい状態にあることに注意。この公式は力がつりあっているかどうか確認の上使うこと。

　そうでない場合は、必ず速度変化が生じるために、各瞬間の和（積分）で計算しなければならなくなる。

36.

熱と仕事

(1)　熱と温度の違いを説明せよ。

(2)　比熱が大きい物質と小さい物質を分子間力の観点から説明せよ。

(3)　比熱$c[J/gK]$とは物質$1g$を$1K$上昇させる熱量で、熱容量$C[J/K]$とは物質を$1K$上昇させる熱量であることを用い。$Q=mc\triangle t$と$C=mc$の公式を導け。

(4)　蒸発熱･融解熱を説明せよ。

(解説)

(1)　熱は物体全体に加えたエネルギーを示し、温度は分子1個当たりに分配される運動エネルギーを示す。

(2)　分子1個当たりに分配されるエネルギーは分子間の位置エネルギーと分子の運動エネルギーに分けられる。分子間力が大きい物質は分子間の位置エネルギーが大きくなるので熱を加えても分子間位置エネルギーにエネルギーが多く回り、運動エネルギーにはあまりまわらない。よって、温度が上がりにくく、比熱の大きい物質となる。

(3)　比熱がcということは$1g$を$1K$上昇させる熱量がcJであることを意味している。

$m[g]$を$1K$上昇させるには質量がm倍であるからm倍の熱量が必要である。つまり、$mc[J]$必要となる。これは$1K$上昇させる熱であるから熱容量である。よって、$C=mc$

　これをさらに$\triangle t$温度を上昇させるには$\triangle t$倍の熱量が必要である。

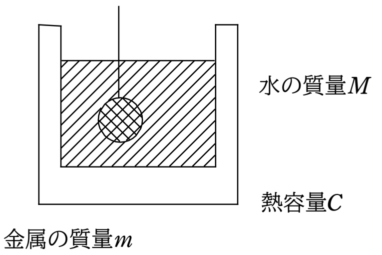
よって、$Q=mc\triangle t$

(4)　蒸発熱$[J/g]$…沸点にある液体$1g$を完全に蒸発させるのに必要なエネルギー

　融解熱$[J/g]$…融点にある固体$1g$を完全に融解させるのに必要なエネルギー

37.

熱容量Cの断熱された銅製容器に質量M、比熱cの水を入れ、温度T_0で一定にした。この水の中に温度T_1で加熱した質量mの金属球をいれたところ温度がTになった。このときの金属の比熱kは$k=\frac{(C+Mc)(T-T_0)}{m(T_1-T)}$で表されることを示せ。



(解説)

$Q=mc\Delta t$である。データ量の多い問題では表にまとめて整理すると考えやすい。

	質量	比熱	変化後の温度	変化前の温度	熱量
銅製容器	C		T	T_0	$C(T-T_0)$
水	M	c	T	T_0	$Mc(T-T_0)$
金属球	m	k	T	T_1	$mk(T-T_1)$

ここで熱容量は質量と比熱の積であるから上の表では片方に入れている。

ここで温度の大小関係は$T_0<T<T_1$であるため、銅製容器の熱量$C(T-T_0)$と水の熱量$Mc(T-T_0)$は正であり、これは熱をもらったことを意味している。

また、金属球の熱量は負であり、これは熱を失ったことを意味している。この3物質の間のみで熱の移動が起こっているので、失った金属球の熱が銅製容器と水に移動したのである。よって、この熱量の和は０となる。これを式にすると、

$C(T-T_0)+Mc(T-T_0)+mk(T-T_1)=0$

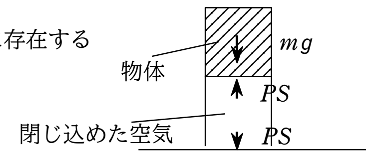
38.

気体の法則

(1)　圧力とは$1m^2$あたりにかかる力を示している。これを用いて力Fが面積Sにかかっているときの圧力$P=\dfrac{F}{S}$を導け。

(2)　立方体内に閉じ込められている気体に関し、気体の圧力は気体分子が壁に衝突するときの衝撃力と解釈されている。気体の圧力は分子の数と分子の速さの2乗に比例することを示せ。

(3)　気体分子の衝撃力（圧力）はその面$1m^2$の上に存在する空気の重さに等しいことを右の図を用いて示せ。



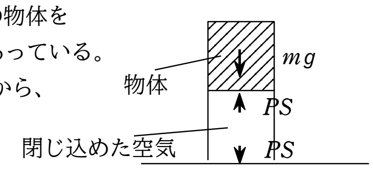
これを解くと、$k=\dfrac{(C+Mc)(T-T_0)}{m(T_1-T)}$となる。

解説

(1)　圧力Pは$1m^2$あたりにかかる力が$P[N]$であることを意味している。よって、$F=PS$ で　$P=\dfrac{F}{S}$となる。

(2)　分子数が2倍になれば衝撃力も2倍になる。よって、分子数に比例している。また、速さが2倍になれば衝撃力（力積＝運動量の変化）も2倍になるため衝撃力は2倍になるが分子が速いために向かいの壁に跳ね返って戻ってくるまでの時間が半分になる。よって、衝突回数が2倍になり、衝撃力は合わせて4倍となる。つまり、分子の速さの2乗に比例している。

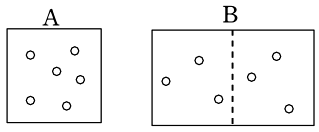
(3)　空気を横にもれないようにして上に質量mの物体を乗せた。物体は静止しているため、力はつりあっている。物体に作用する重力はmgで空気の圧力はPだから、気体が物体に及ぼす力は断面積をSとしてPSとなる。よって、$mg=PS$となり、気体の圧力は$1m^2$の面の上に乗っている物体の重さと等しくなる。



39.

ボイル･シャルルの法則

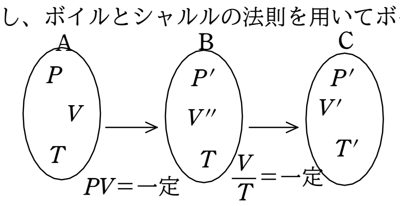
(1)　Aの容器の気体の体積を2倍にしたのがBである。これを用いてボイルの法則を示せ。



(2)　温度が分子1個あたりの運動エネルギーを表し、圧力が分子衝突の衝撃力を表しているとして、体積が一定のとき圧力と絶対温度は比例することを示せ。

(3)　(1)、(2)を用いて、シャルルの法則を導け

(4)　図を利用し、ボイルとシャルルの法則を用いてボイル･シャルルの法則を導け



解説

(1)　温度が一定のときすなわち、分子速度が一定のとき、Aに比べてBは単位体積あたりの分子数が半分になっているので圧力が半分になる。

つまり、体積と圧力は反比例の関係にあることになる。よって、$PV=$一定

(2)　分子速度がn倍になると、1回衝突の衝撃力はn倍になるが向かいの壁に跳ね返って再び衝突するまでの時間が$\dfrac{1}{n}$になり、衝突回数がn倍になる。よって分子衝突の衝撃力はn^2倍になる。これは圧力は分子速度の2乗に比例することを意味している。温度が分子の運動エネルギーを表しているから、圧力は温度に比例することになる。

(3)　まず体積を一定にして絶対温度を2倍にすると、圧力が2倍になる。次に温度を一定にして圧力を元と同じ（半分）にするとボイルの法則より体積は2倍になる。つまり、圧力が一定の元で絶対温度を2倍にすると、体積が2倍になるのである。よって、気体の絶対温度と圧力は比例関係にあることがわかる。

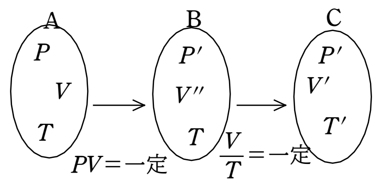
(4)　AからBの状態への変化は

温度が一定であるからボイルの法則が成立。

$PV=P'V''$

BからCへの変化は圧力が一定であるので、シャルルの法則が成立。

$\dfrac{V''}{T}=\dfrac{V'}{T'}$



この2式より、V''を消去すると、

$\dfrac{PV}{T}=\dfrac{P'V'}{T'}$

となり、ボイルシャルルの法則が導かれる。

40.

熱力学第一法則

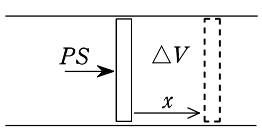
(1)　気体分子の内部エネルギーとは何か説明せよ。

(2)　熱力学第一法則をエネルギー保存則の観点で説明せよ。

(3)　図を用いて、定圧変化のときピストンを動かす仕事は$P\triangle V$であることを導け。

(4)　定圧変化はシャルルの法則に従うことを示せ。

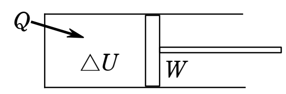
(5)　等温変化はボイルの法則に従うことを示せ。



解説

(1)　内部エネルギーは気体分子の運動エネルギーと位置エネルギーの総和である。気体の場合、分子間力の位置エネルギーが無視できるので、気体各分子の運動エネルギーの総和となる。

(2)　気体に加えた熱エネルギーQは内部エネルギーの上昇$\triangle U$とピストンを動かす仕事Wに使われる。



よって、　$Q=\triangle U+W$

(3)　気体がピストンを押す力がする仕事は、$W=Fs=PSx$

ここで、Sxは気体の体積の増加分を表している。よって、$Sx=\triangle V$とおける。

よって、$W=P\triangle V$

(4)　定圧変化は圧力一定であるため、シャルルの法則が成立する。

(5)　等温変化は温度が一定であるため、ボイルの法則が成立する。

Q