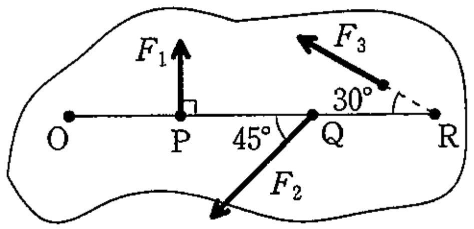
1　右図に示すように，$F_1=3$ N，$F_2=6$ N，$F_3=4$ N の力が物体にはたらいている。点 P，Q，R は O 点からそれぞれ 0.2 m，0.4 m，0.6 m の位置である。各力の O 点のまわりのモーメントを求めよ。



ヒント　力のモーメント=(力の大きさ)×(作用線におろした垂線の長さ)

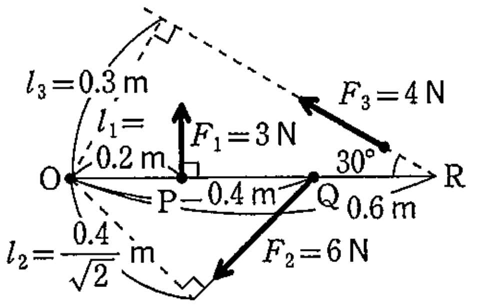
解答　F_1：0.6 N·m，F_2：−1.7 N·m，F_3：1.2 N·m

O 点から各力の作用線までの距離 l_1，l_2，l_3 は

$l_1=0.2$ [m]，

$l_2=\dfrac{0.4}{\sqrt{2}}$ [m]，

$l_3=0.6\times\dfrac{1}{2}=0.3$ [m]



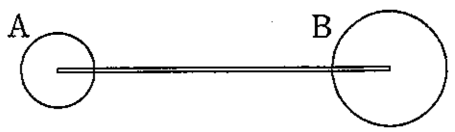
よって，各力の O 点のまわりのモーメント N_1，N_2，N_3 は，反時計まわりの力のモーメントを正として

$N_1=F_1l_1=3\times0.2=0.6$ [N·m]

$N_2=F_2l_2=-6\times\dfrac{0.4}{\sqrt{2}}\fallingdotseq-1.7$ [N·m]

$N_3=F_3l_3=4\times0.3=1.2$ [N·m]

2　長さ 30 cm の棒の両端 A，B にそれぞれ 200 g と 300 g のおもりをとりつけた。棒の重さを無視したとき，重心の位置はどこか。



ヒント　A 端，B 端のおもりにはたらく重力の，任意の点のまわりのモーメントの和は，重心にはたらく重力のモーメントに等しいことを用いる。

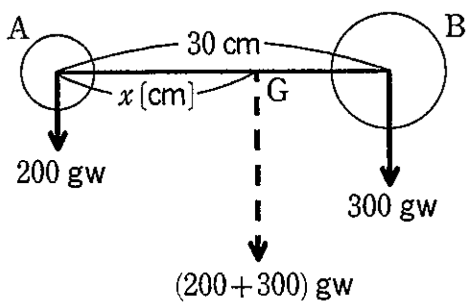
解答　A から B に向かって 18 cm の点

重心 G の位置を A 端から x [cm] とする。A 端，B 端のおもりにはたらく重力の A 点のまわりのモーメントの和は，重心にはたらく重力の A 点のまわりのモーメントに等しい。よって

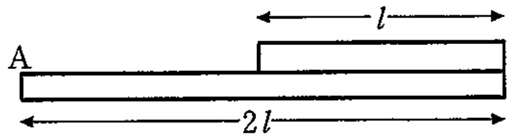
$200\times0+300\times30=(200+300)\times x$

ゆえに　$x=18$ [cm]

A から B に向かって 18 cm の点



3　単位長さ当たりの重さがともに a [kgw/m] で長さが l [m] および $2l$ [m] の 2 本の一様な棒を図のようにはりあわせた。この棒の重心の位置は A 端からはかってどこにあるか。ただし，棒の太さは無視できるものとする。

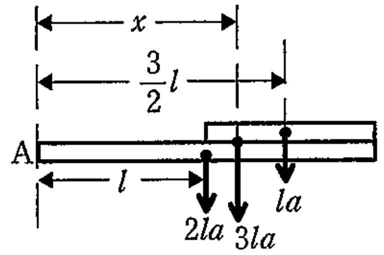


解答　$\dfrac{7}{6}l$ [m]

A から重心までの距離を x [m] として，A 端のまわりのモーメントを考えて

$3lax=2la\times l+la\times\dfrac{3}{2}l$

ゆえに　$x=\dfrac{7}{6}l$ [m]

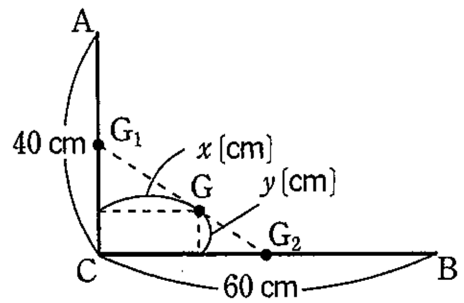


4　長さ 1 m の針金 AB を，A 端から 40 cm の点 C で直角に折り曲げた。針金は一様にできているとして，重心の位置はどこか。各辺からの距離で求めよ。

ヒント　各辺の重心の位置を求めてから，全体の重心を求める。

解答　AC から 18 cm，BC から 8 cm の点

AC 部分の重心を G_1，BC 部分の重心を G_2 とすると，それぞれの位置は，AC，BC の中点である。また，G_1，G_2 にはたらく重力の大きさを W_1，W_2 とすると



$W_1:W_2=2:3$

よって，全体の重心 G の位置は

$G_1G:G_2G=W_2:W_1=3:2$

G の位置を AC から x [cm]，BC から y [cm] とすると

$(20-y):y=G_1G:G_2G=3:2$

ゆえに　$y=8$ [cm]

$x:(30-x)=G_1G:G_2G=3:2$

ゆえに　$x=18$ [cm]

よって，重心の位置は，AC から 18 cm，BC から 8 cm の点

5 　床に置かれた長さ 5 m の丸太 AB がある。その一端 A をわずかに持ち上げるのに 30 N の力が必要であった。また，他端 B をわずかに持ち上げるのには 20 N の力が必要であった。丸太の重さと，重心の位置を求めよ。

ヒント　丸太の重さを W，重心の位置を A 端から x〔m〕として，A 端，B 端のまわりの力のモーメントのつりあいを考えよ。

解答　50 N，A から 2 m の点

丸太の重さを W〔N〕，重心の位置を A 端から x〔m〕とする。

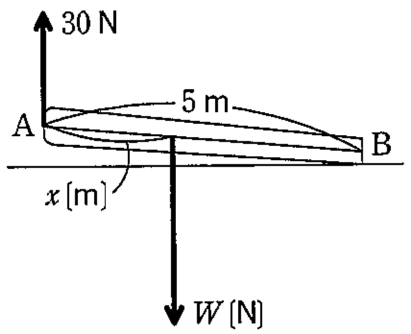
A 端をわずかに持ち上げるとき，B 端のまわりの力のモーメントのつりあいから

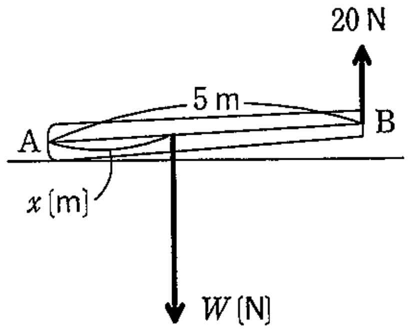
$W\times(5-x)=30\times5$ …… ①

B 端をわずかに持ち上げるとき，A 端のまわりの力のモーメントのつりあいから

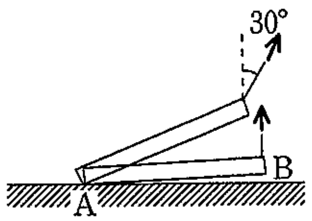
$20\times5=W\times x$ …… ②

①，②から　$x=2$〔m〕，$W=50$〔N〕





6 　図に示すように，まっすぐで密度が一様でない細い棒 AB が水平な床の上に置いてある。棒の長さは l，質量は M である。棒の端 B には軽いひもが結ばれており，そのひもを上方に引っ張って端 B を持ち上げることができる。重力加速度の大きさを g として以下の問いに答えよ。



(1)　ひもを大きさ $\frac{1}{3}Mg$ の力で鉛直上方に引っ張ったところ，棒の端 B がわずかに持ち上がってつりあった。このとき，棒の端 A が床を押している力の大きさはどれだけか。

(2)　この棒の重心の位置は端 A からどれだけの距離にあるか。

(3)　次に，図のように棒の端 B を持ち上げたら，ひもが鉛直方向と 30° をなす角度でつりあい，ひもの張力の大きさは $\frac{1}{\sqrt{3}}Mg$ であった。このとき，端 A が床から受ける垂直抗力の大きさはどれだけか。

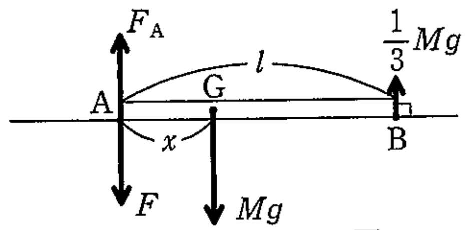
(4)　前問 (3) よりわずかにひもの張力を増したら，棒は床の上をすべりはじめた。前問 (3) がすべりはじめる直前の状態であったとして，この棒と床との間の静止摩擦係数を求めよ。

解答　(1) $\frac{2}{3}Mg$　(2) $\frac{l}{3}$　(3) $\frac{Mg}{2}$　(4) $\frac{1}{\sqrt{3}}$

(1)　棒の端 A が床を押す力の大きさを F，端 A が床から受ける力の大きさを F_A とする。1 図より，棒 AB が受けている力のつりあいは

$F_A+\frac{1}{3}Mg=Mg$

また，作用反作用の法則より　$F=F_A$ であるから　$F=\frac{2}{3}Mg$



1 図

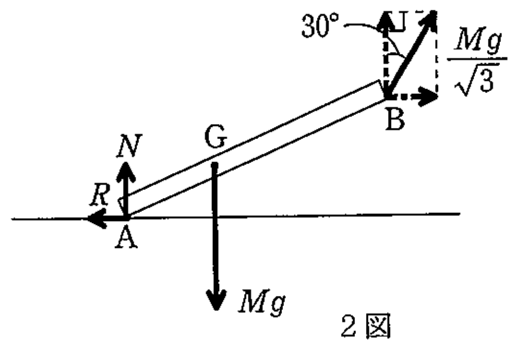
(2)　重心の位置を G とし，AG$=x$ とする。A 点のまわりの力のモーメントのつりあい

$\frac{Mg}{3}\cdot l-Mg\cdot x=0$　から　$x=\frac{l}{3}$

(3)　端 A が床から受ける垂直抗力の大きさを N とすると，2 図より

$N+\frac{Mg}{\sqrt{3}}\cos30°=Mg$

ゆえに　$N=Mg-\frac{Mg}{\sqrt{3}}\times\frac{\sqrt{3}}{2}=\frac{Mg}{2}$



2 図

(4)　(3) で端 A が床面から受けている摩擦力 R は最大摩擦力に等しいから　$R=\mu N$

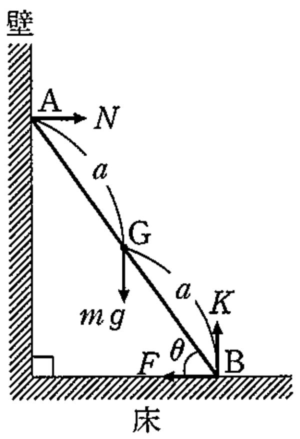
床面にそった方向の力のつりあいから

$\frac{Mg}{\sqrt{3}}\sin30°=R$　　よって　$\frac{Mg}{\sqrt{3}}\times\frac{1}{2}=\mu\times\frac{Mg}{2}$

ゆえに　$\mu=\frac{1}{\sqrt{3}}$

7　次の文中の各問いに答えよ。ただし，重力加速度の大きさは g〔m/s²〕とする。

図のように，なめらかで鉛直な壁面上のA点とあらい水平な床面上のB点との間に，質量分布が一様で，長さ $2a$〔m〕，質量 m〔kg〕のはしごを立てかけた。このとき，はしごと床面との間の角度は θ〔度〕である。はしごに作用する外力は，はしごの下端から長さ a〔m〕の重心G点にはたらく大きさ mg〔N〕のはしごの重力，なめらかな壁面からの大きさ N〔N〕の垂直抗力，およびあらい床面からの大きさ K〔N〕の垂直抗力と，この床面から受ける大きさ F〔N〕の摩擦力である。ただし，あらい床面とはしごの下端の間の静止摩擦係数を μ とする。



まず，力のつりあいについて考える。水平方向においては，右向きを力の正の向きとすると

$$N-\boxed{\text{ア}}=0$$

である。鉛直方向においては，上向きを力の正の向きとすると

$$K-\boxed{\text{イ}}=0$$

である。次に，はしごの下端B点のまわりの力のモーメントのつりあいを考えると

$$\boxed{\text{ウ}}-N\cdot 2a\sin\theta=0$$

である。したがって

$$\tan\theta=\boxed{\text{エ}}\ \cdots\cdots ①$$

となる。

ここで，はしごがすべりだす瞬間を考える。すべりだす瞬間の角を θ_C〔度〕とする。はしごがすべりだす瞬間の摩擦力 F〔N〕は最大摩擦力 F_{max}〔N〕となるから

$$F=F_{max}=\boxed{\text{オ}}\ \cdots\cdots ②$$

と書ける。よって，①と②式などを用いると

$$\tan\theta_C=\boxed{\text{カ}}\ \cdots\cdots ③$$

が得られる。はしごをこの θ_C〔度〕より小さい角度で壁面に立てかけると，はしごがすべりだす。

一方，はしごが床面をすべらないためには，③式からわかるように，静止摩擦係数 μ の値が小さくてすべりやすい床面ほど，立てかける角 θ〔度〕の値を $\boxed{\text{キ}}$ しなければならない。

解答　(ア) F　(イ) mg　(ウ) $mga\cos\theta$　(エ) $\dfrac{mg}{2N}$　(オ) μmg

(カ) $\dfrac{1}{2\mu}$　(キ) 大きく

水平方向の力のつりあいは，

$N-F=0$　よって　(ア) F

鉛直方向の力のつりあいは

$K-mg=0$　よって　(イ) mg

B点まわりの力のモーメントのつりあいは，

$mg\times a\cos\theta-N\times 2a\sin\theta=0$

よって　(ウ) $mga\cos\theta$

したがって

$$\tan\theta=\frac{\sin\theta}{\cos\theta}=\frac{mga}{2Na}=\frac{mg}{2N}\ \cdots\cdots(\text{エ})$$

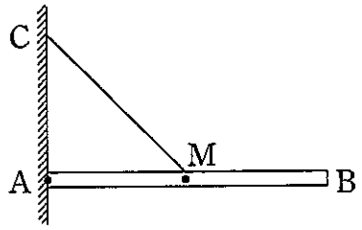
$F_{max}=\mu K$ より

$F=F_{max}=\mu mg$ ……(オ)

$$\tan\theta_C=\frac{mg}{2N}=\frac{mg}{2F_{max}}=\frac{mg}{2\mu mg}=\frac{1}{2\mu}\ \cdots\cdots(\text{カ})$$

(キ)　問題文の③式から，μ が小さければ，$\tan\theta_C$ は大きくなる。ゆえに θ は大きくしなければならない。

8 図のように，長さ $2l$，質量 M，太さおよび密度の一様な棒 AB がある。その一端 A を壁にあてがい，棒の中央の点 M に結びつけた糸で，棒を水平に支えている。糸の他端は A の真上の点 C に固定されていて，AC の距離は l とする。重力加速度の大きさは g とし，棒はたわまないものとして，次の問いに答えよ。



(1) 糸の張力の大きさはいくらか。

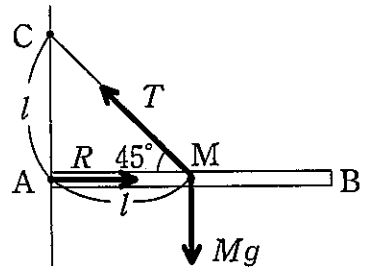
(2) 棒の A 端が壁から受けている抗力の大きさはいくらか。

この状態で，棒の B 端に鉛直下向きの力を加え，その大きさを次第に大きくしていったところ，大きさが Mg になったとき，棒の A 端は上方にすべり動いた。

(3) 壁と棒との間の静止摩擦係数はいくらか。

解答 (1) $\sqrt{2}Mg$ (2) Mg (3) $\dfrac{1}{3}$

(1) 棒は点 M にはたらく重力 Mg，張力 T と，A にはたらく抗力 R の 3 力でつりあう。剛体が 3 力でつりあうときは，その 3 力の作用線は 1 点で交わることから，抗力 R の方向は A から M に向かっている。



点 A のまわりの力のモーメントのつりあいから

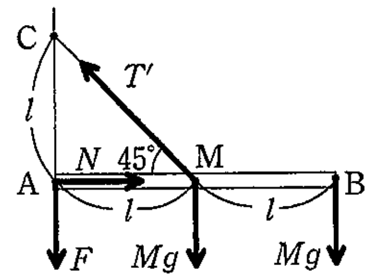
$Mgl = Tl\sin 45°$

ゆえに $T = \sqrt{2}Mg$

(2) 水平方向の力のつりあいから

$R = T\cos 45° = \sqrt{2}Mg\cos 45° = Mg$

(3) すべり動く直前の，糸の張力を T'，A 端にはたらく垂直抗力を N，最大摩擦力を F とすると，点 A のまわりの力のモーメントのつりあいから



$Mgl + 2Mgl = T'l\sin 45°$

ゆえに $T' = 3\sqrt{2}Mg$

水平方向の力のつりあいから

$N = T'\cos 45° = 3\sqrt{2}Mg\cos 45°$

ゆえに $N = 3Mg$

鉛直方向の力のつりあいから

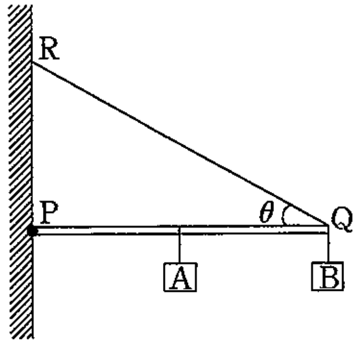
$F + Mg + Mg = T'\sin 45° = 3Mg$

ゆえに $F = Mg$

静止摩擦係数を μ とすると

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{Mg}{3Mg} = \frac{1}{3}$$

9 図に示すように，質量の無視できる長さ l〔m〕の棒の一端 P が鉛直な壁にとりつけられている。棒は P のまわりをなめらかに回転できるようになっている。いま，P の真上の点 R と棒の他端 Q との間に軽いひもを張って，棒が壁に垂直になるように支持した。このとき，棒とひものなす角は θ であった。この状態で棒の中央に質量 m〔kg〕の物体 A を，点 Q に質量 $2m$〔kg〕の物体 B を，それぞれ軽いひもでつり下げた。重力加速度の大きさを g〔m/s²〕として，以下の問いに答えよ。



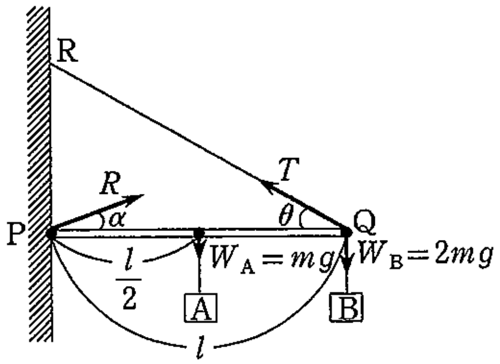
(1) 物体 A と物体 B にはたらく重力を，それぞれ $\overrightarrow{W_A}$〔N〕，$\overrightarrow{W_B}$〔N〕とする。$\overrightarrow{W_A}$ と $\overrightarrow{W_B}$ の合力の大きさ W〔N〕を求めよ。また，この合力の作用点を点 G として，PG 間の長さ L〔m〕を求めよ。

(2) 点 P のまわりの力のモーメントの和が 0 になることを用いて，QR 間のひもの張力の大きさ T〔N〕を求めよ。

(3) 棒が壁から受ける力の向きが棒となす角を α としたとき，θ を用いて $\tan\alpha$ を表せ。

解答 (1) $W=3mg$〔N〕，$L=\frac{5}{6}l$〔m〕 (2) $\frac{5mg}{2\sin\theta}$〔N〕 (3) $\frac{1}{5}\tan\theta$

棒 PQ は質量が無視できるので，棒には壁からの抗力 R，物体 A が引く力 $W_A(=mg)$，物体 B が引く力 $W_B(=2mg)$，糸の張力 T の 4 力が右図のようにはたらいている。剛体にはたらく力のつりあいを考えるので，作図をていねいに行い，幾何学的な条件を把握し，力のつりあいの条件や力のモーメントのつりあいの条件をふまえて式を立てればよい。



(1) $W_A=mg$，$W_B=2mg$ の平行な 2 力を合成する。大きさ W は

$$W=W_A+W_B=mg+2mg=3mg\ \text{〔N〕}$$

$$x=\frac{f_1x_1+f_2x_2}{f_1+f_2}$$ より

$$L=\frac{mg\times\frac{l}{2}+2mg\times l}{mg+2mg}=\frac{5}{6}l\ \text{〔m〕}$$

(2) P のまわりの力のモーメントのつりあいより

$$T\sin\theta\times l-mg\times\frac{l}{2}-2mg\times l=0$$

よって $T=\frac{5mg}{2\sin\theta}$〔N〕 ……①

別解 (1) の答えを用いて，W と T による P のまわりの力のモーメントのつりあいより

$$T\sin\theta\times l-3mg\times L=0$$

よって $T=\frac{3mgL}{l\sin\theta}=\frac{3mg\times\frac{5}{6}l}{l\sin\theta}=\frac{5mg}{2\sin\theta}$〔N〕

(3) 水平方向の力のつりあいより

$$R\cos\alpha-T\cos\theta=0 \quad \cdots\cdots②$$

鉛直方向の力のつりあいより

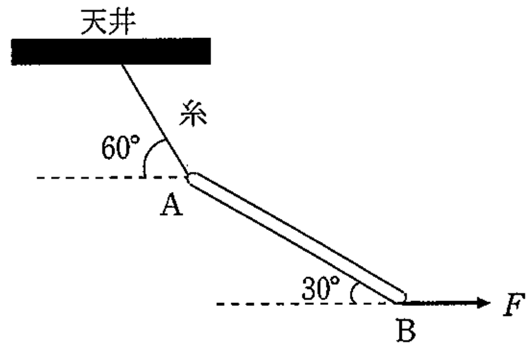
$$R\sin\alpha+T\sin\theta-3mg=0 \quad \cdots\cdots③$$

③ 式を ② 式で割り，T に ① 式を代入すると

$$\tan\alpha=\frac{3mg-T\sin\theta}{T\cos\theta}=\frac{3mg-\frac{5mg}{2\sin\theta}\sin\theta}{\frac{5mg}{2\sin\theta}\times\cos\theta}$$

$$=\frac{1}{5}\tan\theta$$

10 次の設問に答えよ。ただし，空気抵抗は無視できるものとし，重力加速度の大きさは g〔m/s²〕とする。



質量 M〔kg〕，長さ $(a+b)$〔m〕のまっすぐな棒ABがあり，その重心はA端から a〔m〕のところにある。棒ABのA端に糸をつけて天井からつるし，B端を水平方向に一定の力 F〔N〕で引っ張ったところ，図のように，棒ABは水平方向と30°，A端の糸は水平方向と60°の角度をなして静止した。

(1) 糸にかかる張力を T〔N〕として，棒にはたらく力のつりあいの式を水平方向と垂直方向について書け。また，棒の重心のまわりの力のモーメントのつりあいの式を書け。

(2) 力 F〔N〕，張力 T〔N〕，および $\dfrac{b}{a}$ を求めよ。

解答 (1) 水平方向：$F-\dfrac{1}{2}T=0$

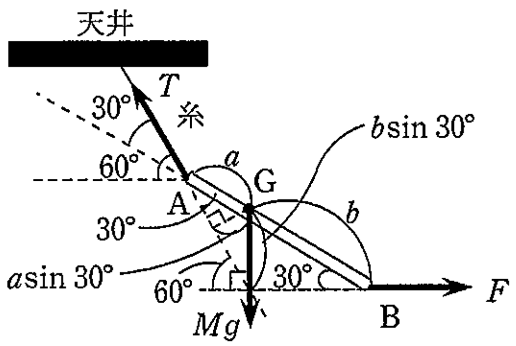
鉛直方向：$\dfrac{\sqrt{3}}{2}T-Mg=0$

モーメント：$Ta=Fb$

(2) $F=\dfrac{Mg}{\sqrt{3}}$〔N〕，$T=\dfrac{2Mg}{\sqrt{3}}$〔N〕，$\dfrac{b}{a}=2$

剛体にはたらく力のつりあいなので，通常の3力のつりあいの条件や力のモーメントのつりあいの条件を式にして考えればよい。作図をていねいにすれば，幾何学的な条件も分かるので，位置関係を注意して扱うとよい。

(1) 題意より棒にはたらく力は下図のように3力になる。



水平方向についての力のつりあいは

$F-T\cos 60°=0$

つまり　$F-\dfrac{1}{2}T=0$ ……①

鉛直方向の力のつりあいは，

$T\sin 60°-Mg=0$

つまり　$\dfrac{\sqrt{3}}{2}T-Mg=0$ ……②

重心Gのまわりの力のモーメントのつりあいは，

$Fb\sin 30°-Ta\sin 30°=0$

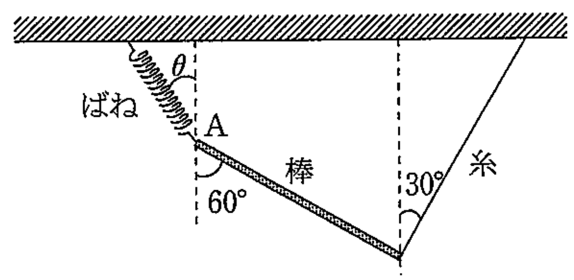
よって　$Ta=Fb$ ……③

(2) ②より　$T=\dfrac{2Mg}{\sqrt{3}}$〔N〕

これを①に代入して $F=\dfrac{1}{2}T=\dfrac{Mg}{\sqrt{3}}$〔N〕

③より　$\dfrac{b}{a}=\dfrac{T}{F}=\dfrac{\frac{2Mg}{\sqrt{3}}}{\frac{Mg}{\sqrt{3}}}=2$

11 質量 m〔kg〕，長さ L〔m〕の一様な棒の一方の端にばね定数 k〔N/m〕のばねを，もう一方の端に糸を取り付け，天井からつるしたところ，図のような状態で静止した。このときの力のつりあいについて，次の問いに答えよ。ただし，重力加速度の大きさを g〔m/s²〕，糸の張力を T〔N〕，ばねの自然の長さからの伸びを x〔m〕とし，糸やばねの質量は無視できるものとする。



(1) 水平方向と鉛直方向のそれぞれについて，棒にはたらく力のつりあいの式を書け。

(2) 棒の端Aのまわりの力のモーメント M_A〔N·m〕と，重心のまわりの力のモーメント M_G〔N·m〕を表す式をそれぞれ書け。ただし，力のモーメントの符号は反時計まわりに回転させる場合を正にすること。

(3) 糸の張力 T，ばねの伸び x，および $\tan\theta$ を，m，g，k を用いて表せ。

(4) 棒の端Aに鉛直下向きの力 F〔N〕を加えて棒を水平にしたところ，ばねと糸の傾き(鉛直線となす角)がそれぞれ θ' と ϕ' になった。このとき，Fを m，g，θ'，ϕ' を用いて表せ。

解答 (1) 水平方向：$\dfrac{1}{2}T-kx\sin\theta=0$，鉛直方向：$\dfrac{\sqrt{3}}{2}T+kx\cos\theta-mg=0$

(2) $M_A=\left(T-\dfrac{\sqrt{3}}{4}mg\right)L$〔N·m〕，$M_G=\{T-kx\cos(\theta+30°)\}\dfrac{L}{2}$〔N·m〕

(3) $\dfrac{\sqrt{3}}{4}mg$〔N〕，$\dfrac{\sqrt{7}\,mg}{4k}$〔m〕，$\dfrac{\sqrt{3}}{5}$　(4) $\dfrac{\sin(\phi'-\theta')}{2\sin\theta'\cos\phi'}mg$〔N〕

(1) 棒にはたらく力およびその水平成分，鉛直成分を図示すると図 a となる。ばねの弾性力についてはフックの法則「$F=kx$」が成りたつので，水平方向の力のつりあいの式は

$$T\sin 30^\circ - kx\sin\theta = 0$$

すなわち

$$\frac{1}{2}T - kx\sin\theta = 0$$

鉛直方向の力のつりあいの式は

$$T\cos 30^\circ + kx\cos\theta - mg = 0$$

すなわち

$$\frac{\sqrt{3}}{2}T + kx\cos\theta - mg = 0$$

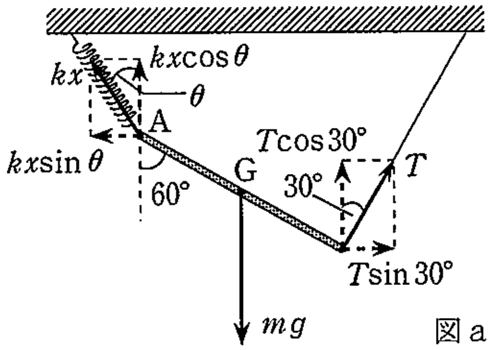


図 a

(2) 棒にはたらく力を，棒に平行な成分と直角な成分に分解すると図 b となる。力のモーメントは，回転軸と作用点を結ぶ距離 l に対して直交する力の成分 $F_\perp$ について「$M=F_\perp l$」で定義されるので

$$M_A = T\times L - mg\cos 30^\circ \times \frac{L}{2}$$

$$= \left(T - \frac{\sqrt{3}}{4}mg\right)L \text{ [N·m]}$$

$$M_G = T\cdot\frac{L}{2} - kx\cos(\theta+30^\circ)\cdot\frac{L}{2}$$

$$= \{T - kx\cos(\theta+30^\circ)\}\frac{L}{2} \text{ [N·m]}$$

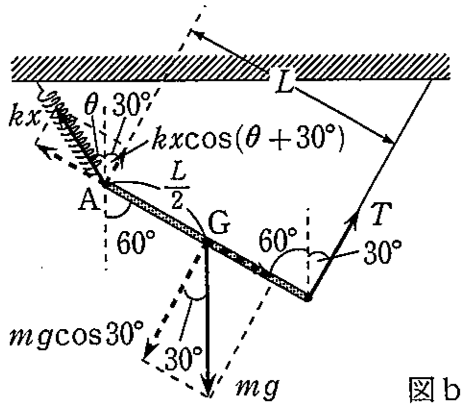


図 b

(3) (2) の M_A のつりあいから

$$\left(T - \frac{\sqrt{3}}{4}mg\right)L = 0 \qquad T = \frac{\sqrt{3}}{4}mg \text{ [N]}$$

(1) の水平方向のつりあいの式に T を代入して

$$kx\sin\theta = \frac{1}{2}T = \frac{1}{2}\times\frac{\sqrt{3}}{4}mg = \frac{\sqrt{3}}{8}mg \quad \cdots\cdots ①$$

(1) の鉛直方向のつりあいの式に T を代入して

$$kx\cos\theta = mg - \frac{\sqrt{3}}{2}T$$

$$= mg - \frac{\sqrt{3}}{2}\times\frac{\sqrt{3}}{4}mg$$

$$= \frac{5}{8}mg \quad \cdots\cdots ②$$

① 式を ② 式で割ると

$$\tan\theta = \frac{kx\sin\theta}{kx\cos\theta} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{8}mg}{\frac{5}{8}mg} = \frac{\sqrt{3}}{5}$$

よって，θ は図 c の三角形の頂角となるので

$$\cos\theta = \frac{5}{\sqrt{5^2+(\sqrt{3})^2}}$$

$$= \frac{5}{2\sqrt{7}}$$

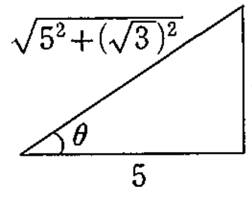


図 c

ゆえに ② 式より $\quad kx\times\frac{5}{2\sqrt{7}} = \frac{5}{8}mg$

$$x = \frac{\sqrt{7}\,mg}{4k} \text{ [m]}$$

(4) 棒にはたらく力およびその水平成分，鉛直成分を図示すると図 d となる。棒について，水平方向の力のつりあいの式は

$$T'\sin\phi' - kx'\sin\theta' = 0 \quad \cdots\cdots ③$$

鉛直方向の力のつりあいの式は

$$T'\cos\phi' + kx'\cos\theta' - mg - F = 0 \quad \cdots\cdots ④$$

A のまわりの力のモーメントのつりあいの式は

$$T'\cos\phi'\times L - mg\times\frac{L}{2} = 0 \quad \cdots\cdots ⑤$$

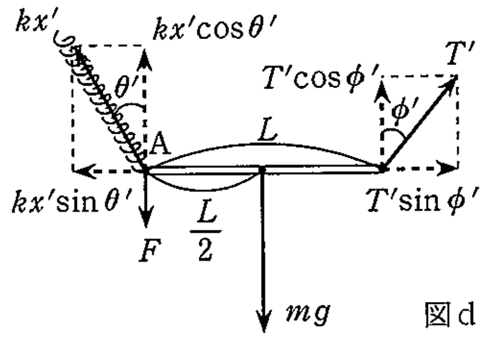


図 d

⑤ 式より $\quad T' = \frac{mg}{2\cos\phi'}$

③ 式を変形して T' を代入すると

$$kx' = \frac{\sin\phi'}{\sin\theta'}T' = \frac{\sin\phi'}{\sin\theta'}\cdot\frac{mg}{2\cos\phi'}$$

④ 式を変形して T'，kx' を代入すると

$$F = T'\cos\phi' + kx'\cos\theta' - mg$$

$$= \frac{mg}{2\cos\phi'}\cos\phi' + \frac{mg\sin\phi'}{2\sin\theta'\cos\phi'}\cos\theta' - mg$$

$$= \left(\frac{\sin\phi'\cos\theta'}{2\sin\theta'\cos\phi'} - \frac{1}{2}\right)mg$$

$$= \frac{\sin\phi'\cos\theta' - \cos\phi'\sin\theta'}{2\sin\theta'\cos\phi'}mg$$

$$= \frac{\sin(\phi'-\theta')}{2\sin\theta'\cos\phi'}mg \text{ [N]}$$

注 $\sin(\alpha\pm\beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$ を用いた。