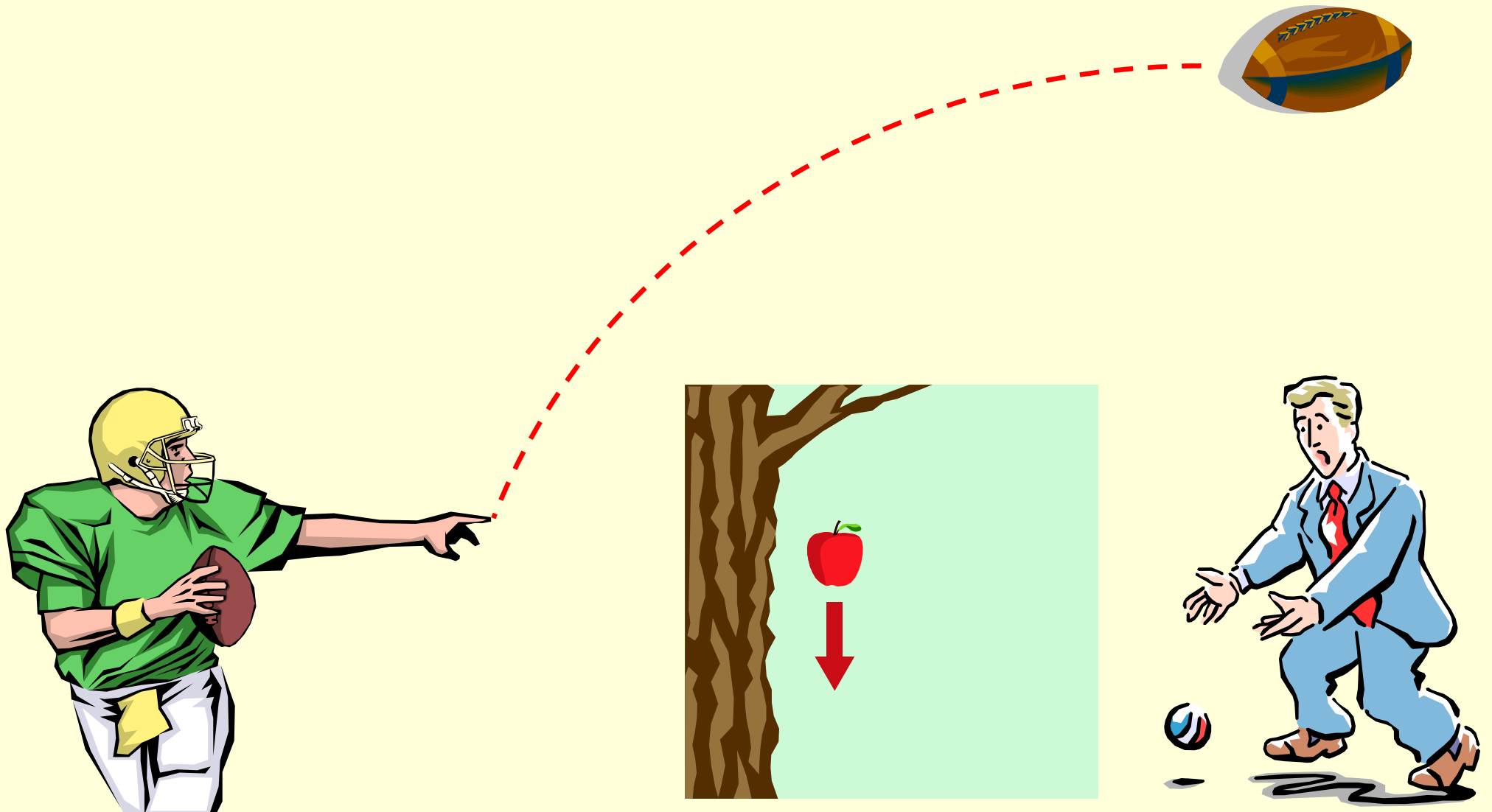


第3章 力と運動の法則



力とは？

止まっている物体を押したり引いたりすると動く。(押したり引いたりしないと動かない)

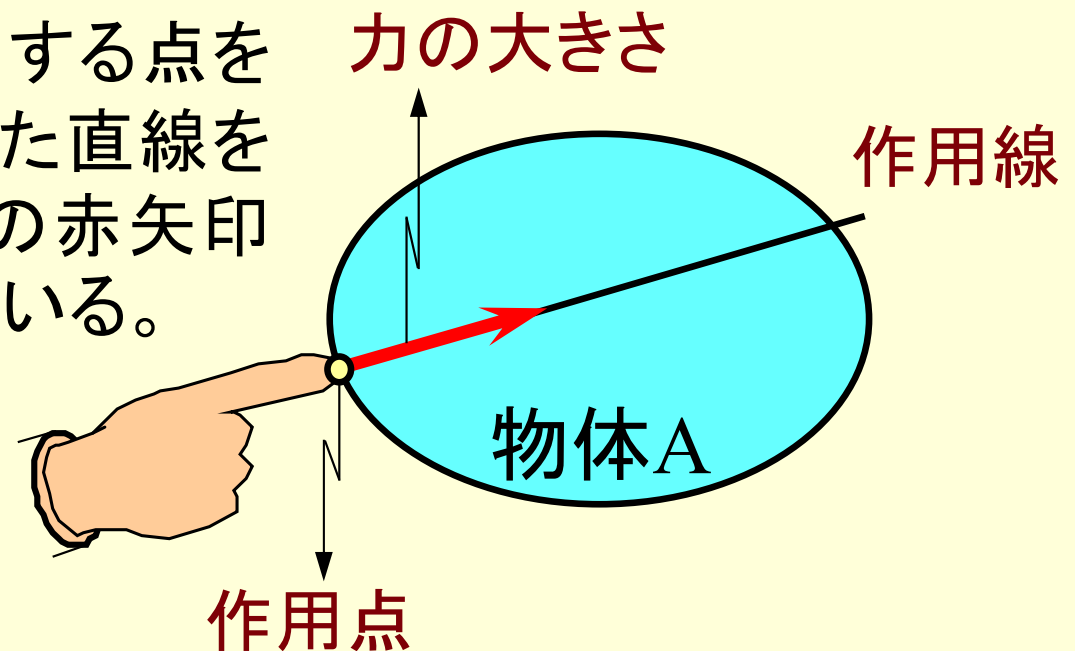
⇒ **運動を引き起こす要因は力**

日常経験

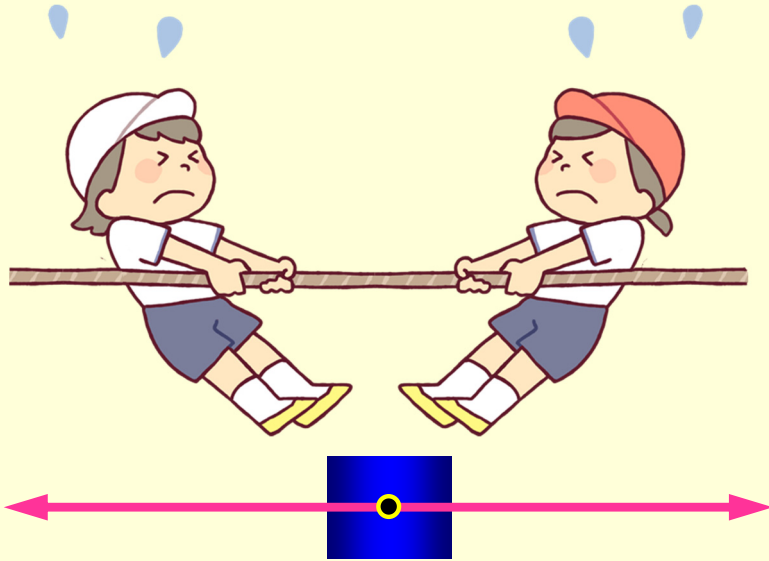
古くからの認識

【力の表し方】

図のような物体Aに作用する点を作用点、力の方向を向いた直線を作作用線という。作用線上の赤矢印が力のベクトル量を表している。



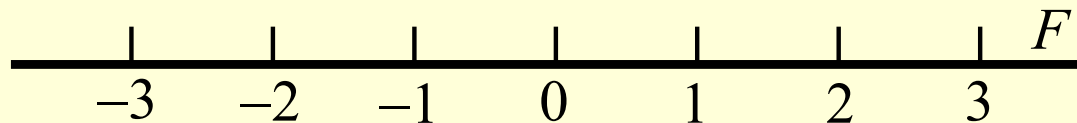
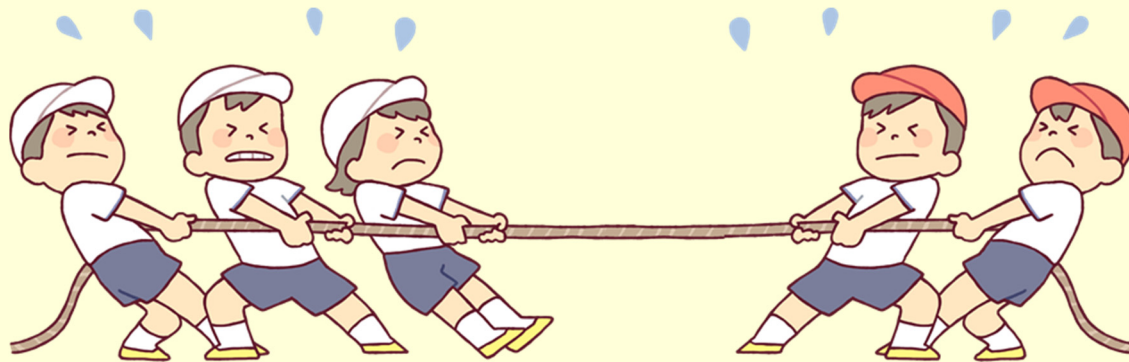
力の性質



同じ力で反対に引っ張っても物は動かない

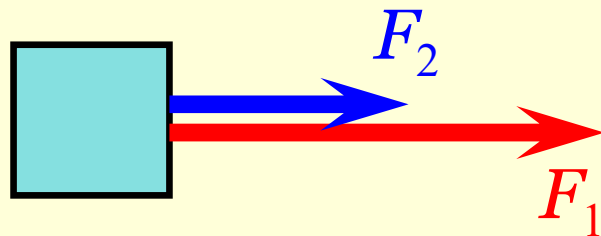
一直線上の力(ベクトル)はそのまま計算できる

$$-3F + 2F = -F$$

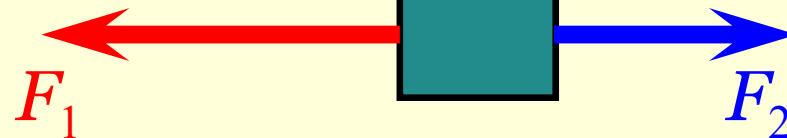


力の合成

同一線上に働く2つの力の場合、2つの力と同じ作用をする1つの力を求めることを「**力の合力**」という。2力が同じ向きの力 F_1 、 F_2 のときは F_1+F_2 、また反対のときは差としての F_1-F_2 となる。すなわち、合力は単純な足し引きで決まる。

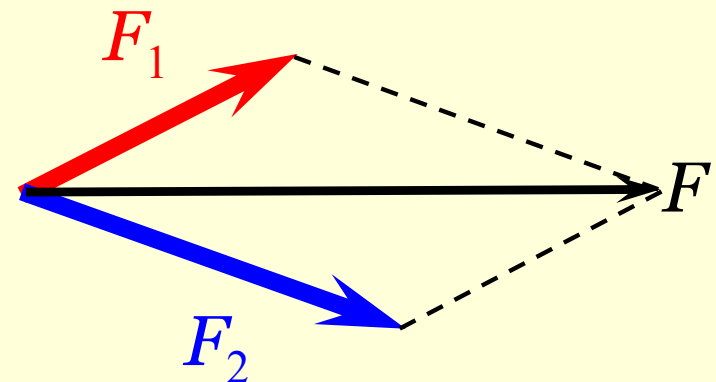


$$F = F_1 + F_2$$



$$F = F_1 - F_2$$

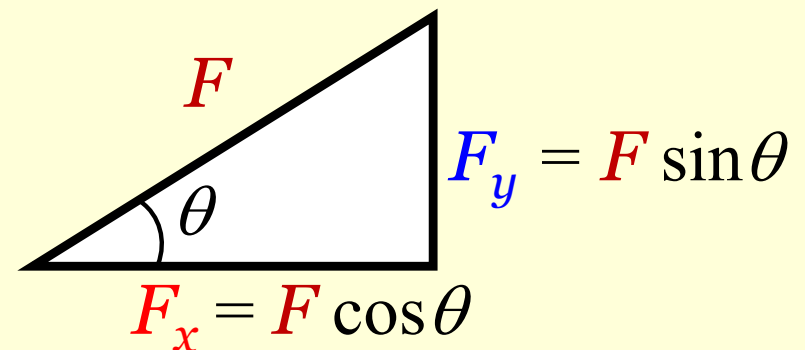
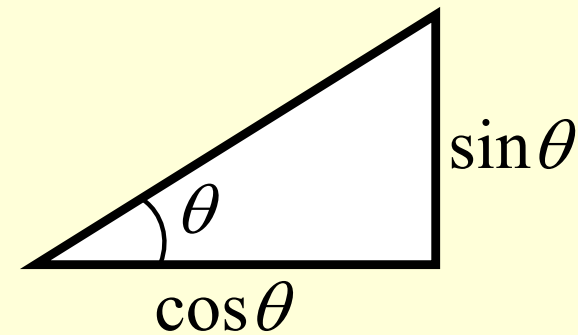
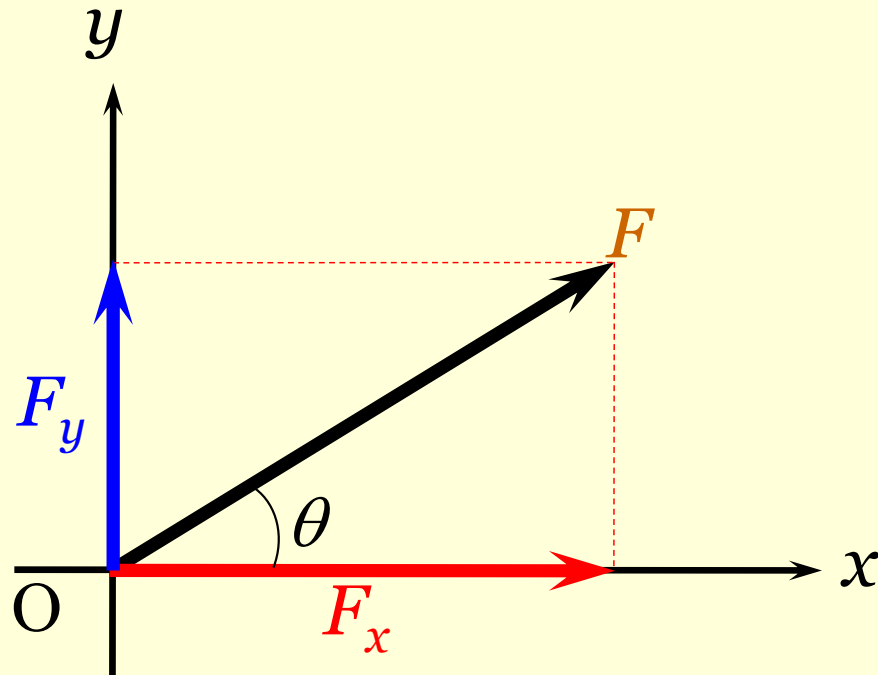
角度をもった2つの力の場合、それぞれを辺とした**平行四辺形の対角線**で合力を求めることができる。すなわち、力の方向性を考慮しなければならない。



力の分解

力の分解とは、方向性をもった力をx軸とy軸といった決まった方向に投射して、それぞれのベクトル量に分けることをいう。

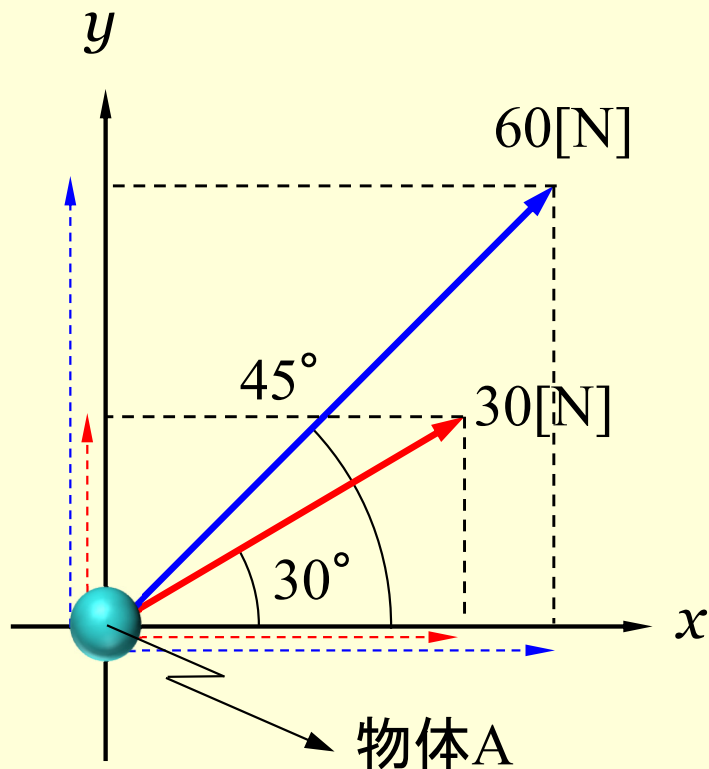
例えば、 F という力があり、これをx軸とy軸に投射すると、図のようにx軸とy軸上に F_x と F_y をつくることができる。つまり、**力 F は F_x と F_y に分解されたことになる。**



力の再合成

「ある物体をいくつかの力で引っばるとき、その物体にどれだけの力がどの方向に加わったことになるか？」を考える。

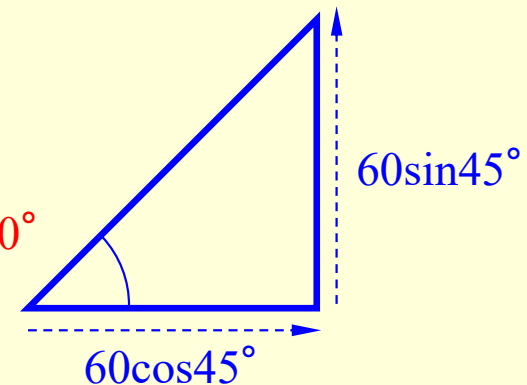
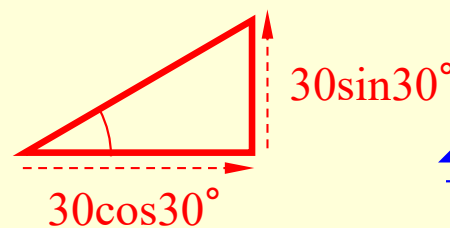
複数の力の合力を求めるときには、まずそれぞれの力をx成分とy成分に分解する。その後、x軸およびy軸上にある全ての総和をそれぞれ求めることによって、x方向の合力 F_x とy方向の合力 F_y が求められる。最終的な合力 F は F_x と F_y から求めることができる。なお、x成分とy成分には(+)成分だけでなく(-)成分もあり得ることに注意すること。



$$F_x : 30\cos 30^\circ + 60\cos 45^\circ = 68.4$$

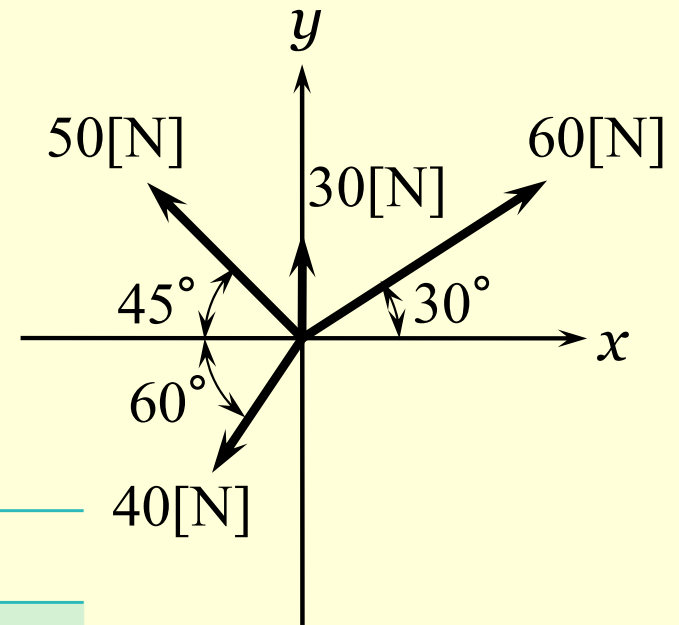
$$F_y : 30\sin 30^\circ + 60\sin 45^\circ = 57.4$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 89.3[\text{N}]$$



応用と考え方

右図のように各ベクトルで示される力があるとき、 x 、 y 軸方向それぞれの合力 F_x 、 F_y および、その合力 F を求めよ。



x 成分

y 成分

60[N]

30[N]

50[N]

40[N]

合力

古代ギリシアの力の認識

アリストテレス

万学の祖

原因⇒結果 と考える

運動の原因は「力」

しかし、摩擦力、空気抵抗、重力の認識が不十分

1. 物体は力が加わっている間だけ動く

摩擦でブレーキがかかるという発想はない

投げた石が飛び続けるのは空気が押し続けるため ×

現象に捉
われすぎ

2. 重いものほど速く落ちる

重いものほど、下に落ちようとする「内在の力」が大きい ×

重力の本質、空気抵抗の働きの認識不足

力の本質(3-11)

日常経験する力の本質は二種類

重力

万有引力

遠隔力

自然界にはあと二種類(強い力と弱い力)

すべての物体の間には引力

少なくとも一方が惑星スケールでないと弱すぎて気付かない
...それぞれの質量に比例

ここで大事なのは離れていても働く力という点

電磁気力

正負の電荷や磁極、電流により働く力

分子間力の源

元々は遠隔力

分子間力

接触力

少し離れている分子の間には引力

「分子は皆友達」

接近しすぎた分子の間には斥力

「縄張りを守る」

様々な接触力

接触する物質間には力が働く

1. 固体と固体の間に働く力
 - A) 変形が無視できるとき
 - B) 変形が無視できないとき

2. 固体と流体（液体、気体）の間に働く力

様々な接触力

1. 固体と固体の間に働く力

A) 変形が無視できるとき

垂直抗力

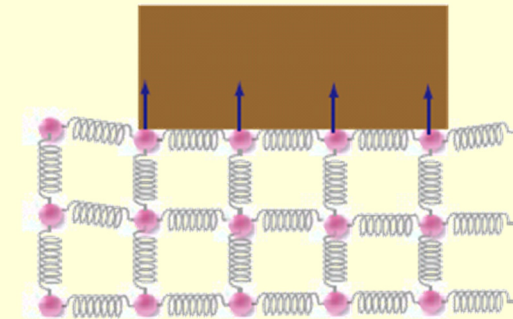
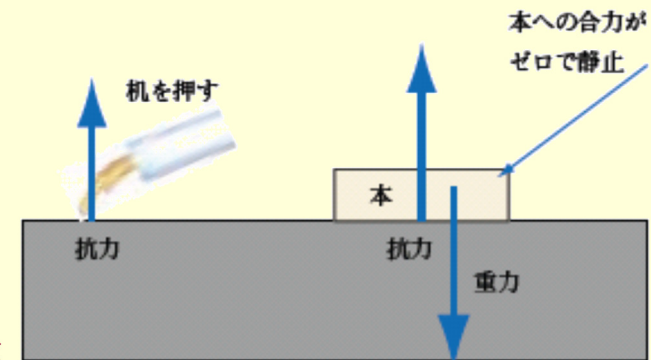
他の物体の進入を防ぐ

固体の分子間力はバネのイメージ

「縄張りに侵入しようとして硬いバネ」に押し返される

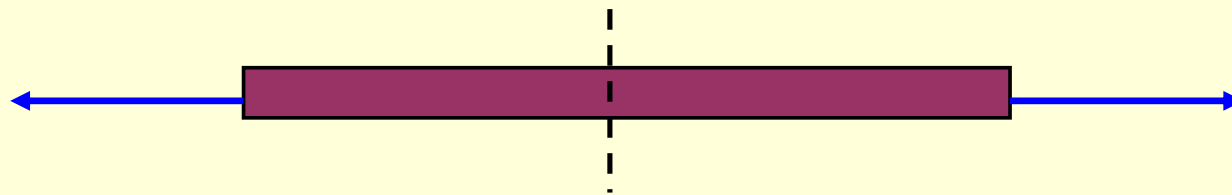
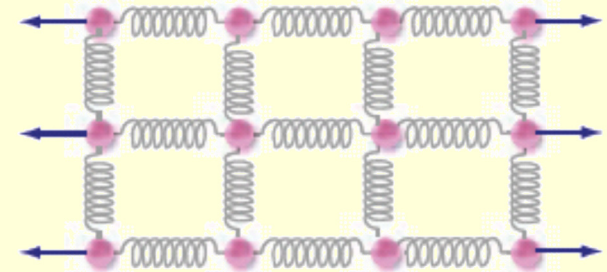
押す力に対する抵抗力

変形は無視できるだけで、現実の物質は必ず力に対し微小な変形を起こしていることにも注意しておこう



様々な接触力

張力～引く力に対する抵抗力
ひもや棒を引っ張る
⇒ どの断面でも互いに引く力



この左右の二つの部分に注目すると



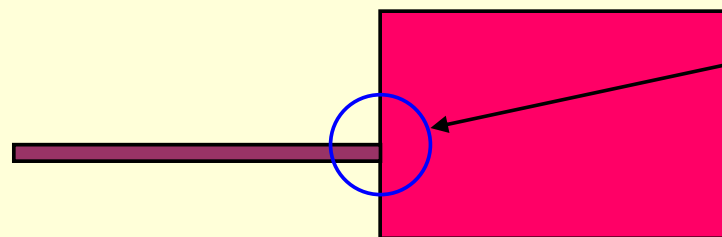
力のつり合い
にも注目

右の部分が元の形を保とうとして左の部分を引く



左の部分が元の形を保とうとして右の部分を引く

ロープ



物体

ここに注目しても同じ

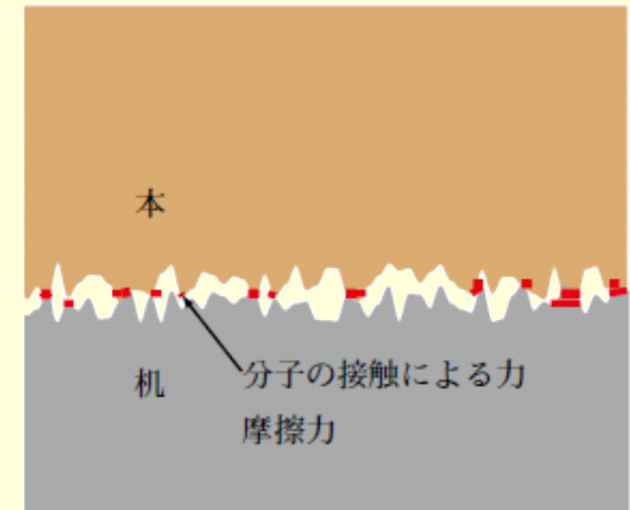
様々な接触力

摩擦力～接触面のずれに対する抵抗力

接触面はミクロにみると無数の凹凸

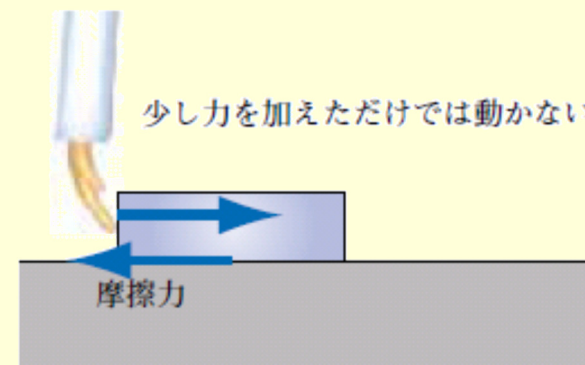
⇒一部分だけが分子レベルで近接

接触面の分子がずれて離れようとする
と分子間の引力が妨害



粗い面では突起がくぼみに入り込む効果の影響も大きくなり複雑になる。

ずれに対する抵抗力の働き



様々な接触力

B) 変形が無視できないとき

バネの力(弾性力) 詳しくは8章

小さな変形に対しては元の形に戻ろうとする復元力が働く

分子が元の位置に戻ろうとする作用の結果

垂直抗力や張力も変形を無視しただけのこと

バネに限らず物質の伸び縮みやねじれの変形でも復元力が働く

ゴム製品など

ニュートンと運動の法則

ウールズソープ(Eng.)生まれ、1661年にケンブリッジ大学に入学。錬金術師・物理学者・数学者・天文学者→最大の近代科学者。

万有引力の法則と運動方程式から、天体の運動を解明した。ゴットフリート・ライプニッツとは別個に**微積分法**(流率法)を発明。反射望遠鏡の発明や、光学における

光のスペクトル分析等。力学分野において、

運動の第1法則 「慣性の法則」

運動の第2法則 「運動の法則」

(狭義の運動の法則)

運動の第3法則 「作用・反作用の法則」

の「ニュートンの運動の法則」が有名。

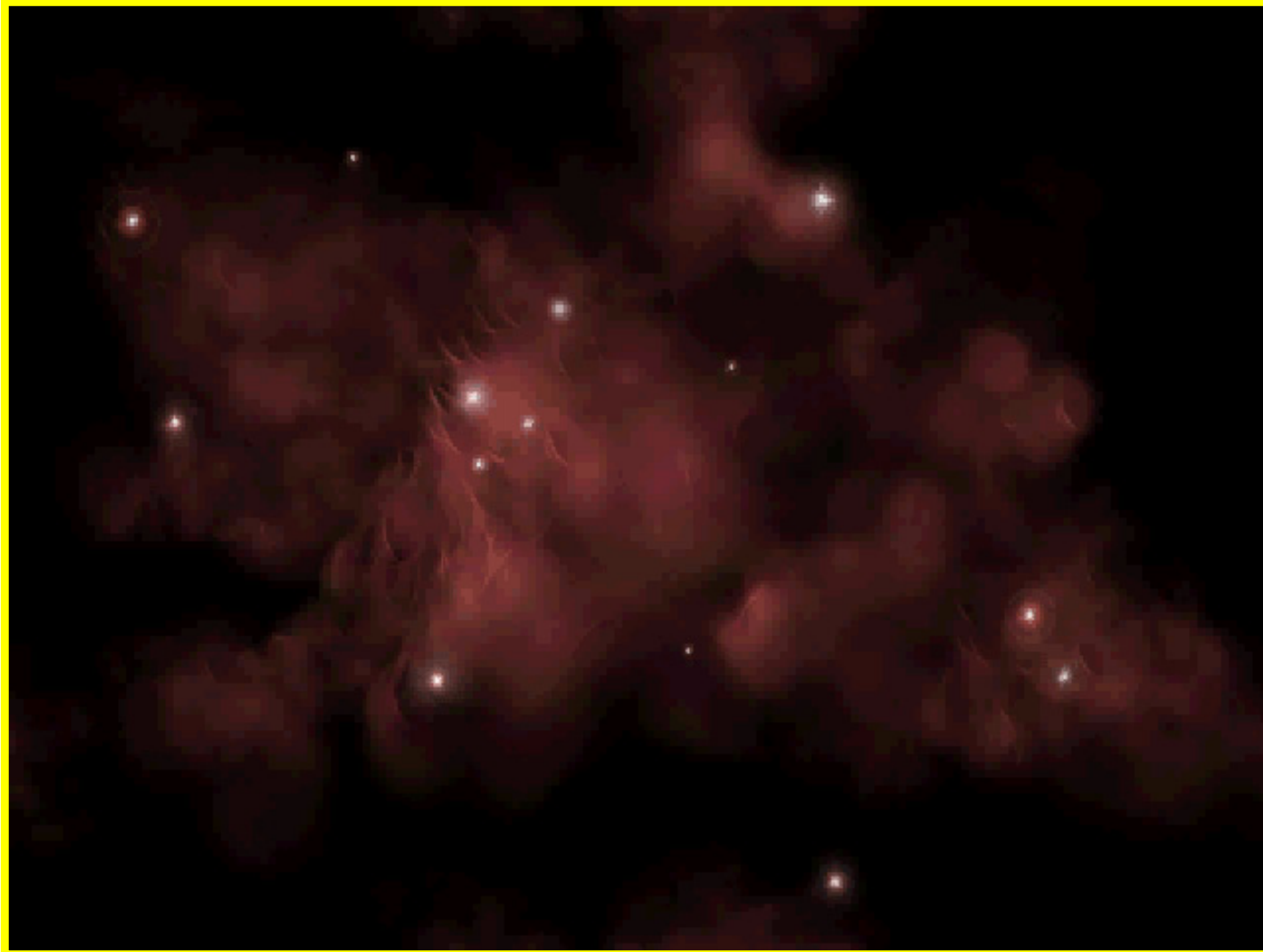


サー・アイザック・ニュートン
(Sir Isaac Newton)

1642年12月25日 - 1727年3月20日

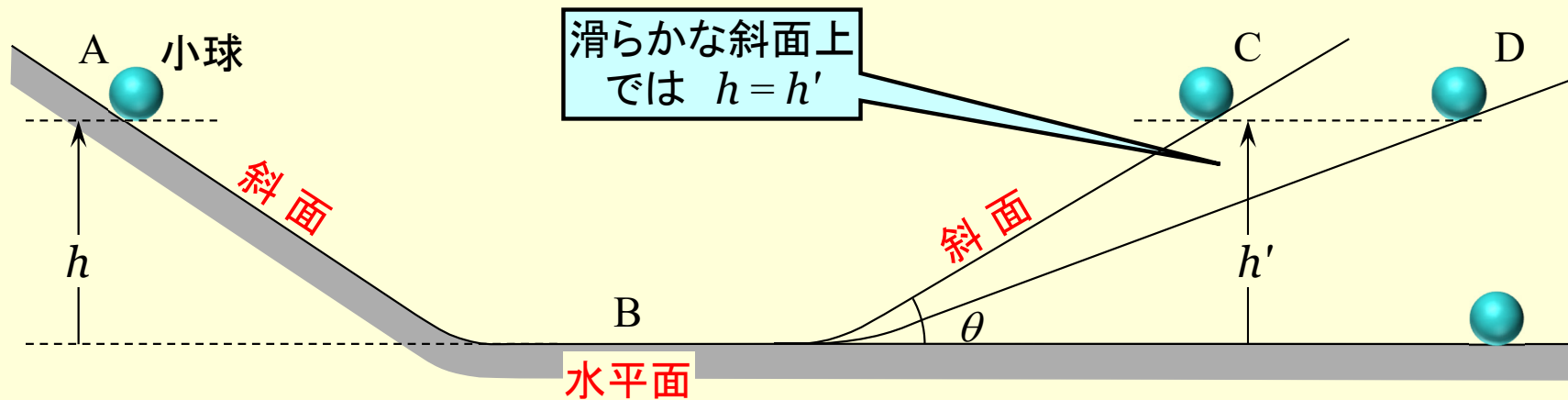
ニュートンの第一法則

物体は、力が働かない場合、等速直線運動する。



慣性の法則：運動の第1法則

物体が他から力を受けないか、あるいはいくつかの力を受けてもそれらの力が釣りあっていれば、静止している物体は静止し続け、運動している物体は等速直線運動を続ける。これを運動の第1法則、または「**慣性の法則**」という。



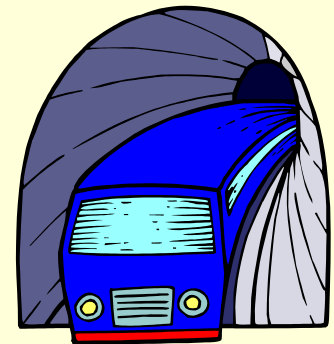
斜面A上の高さ h の所から小球を静かに離すと、小球はAを滑り下り、水平面Bを經由して、斜面C上の高さ h' の所まで上がる。斜面A、B、Cが滑らかであれば $h = h'$ となる。また、水平面と斜面Cがなす角度 θ を小さくしていくと、高さ h まで上がるために、小球は遠くまで進む。以上から、 θ をゼロにすると小球は一定の速さで無限に遠くまで進むとガリレイは考えた。(ガリレイの思考実験)

慣性

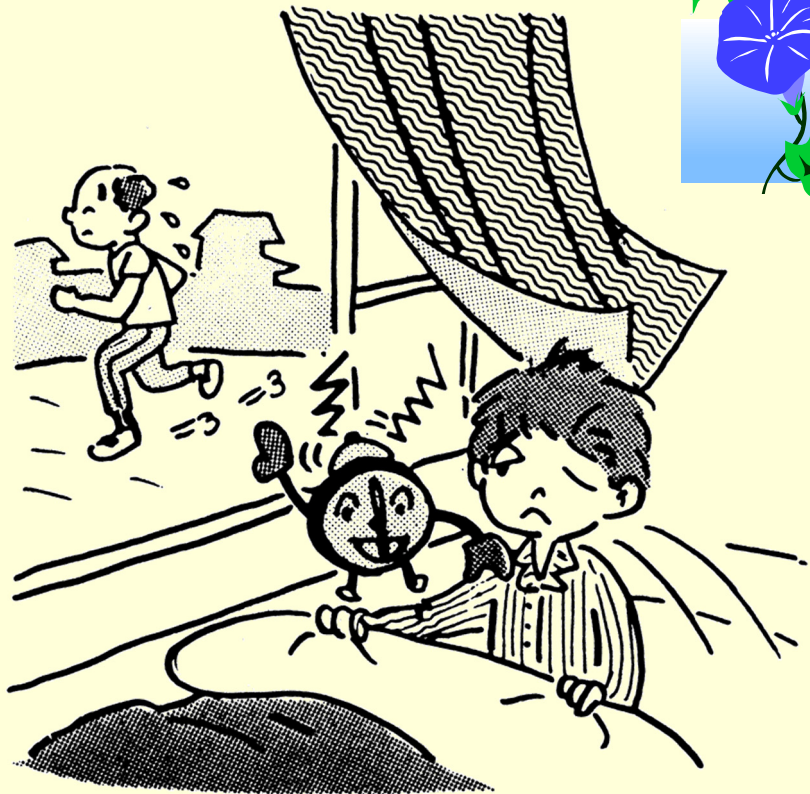
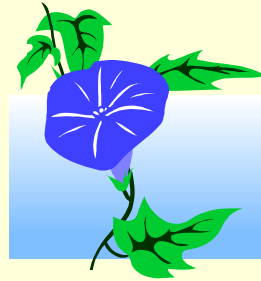
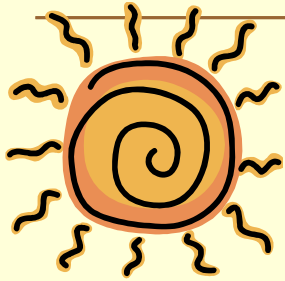
停車している車を急に発進させようとしても、車は急に動かない。また、動いている車を急停車しても車は急に止まらない。動いている電車を急に加速しようとする時、電車の中に乗っている人は進行方向と逆方向に倒れるかも知れない。このように、物体は静止している時も含めて、その時の**運動状態を保ち続けようとする性質**をもっている。この性質を物体の**慣性**という。



乗り物がカーブにさしかかった時、外側に倒れようとする動作も同じ慣性である。



ちよつと一言



慣性とは読んで字のごとく「ならい性」であり、いつもやっていることと違う行動をとろうとするには非常な努力がいる。朝寝坊が早起きするのは義務感か楽しいことがあるときだが、そのためには時計や起こす人が必要となる。このことは自然界の現象と共通する点である。

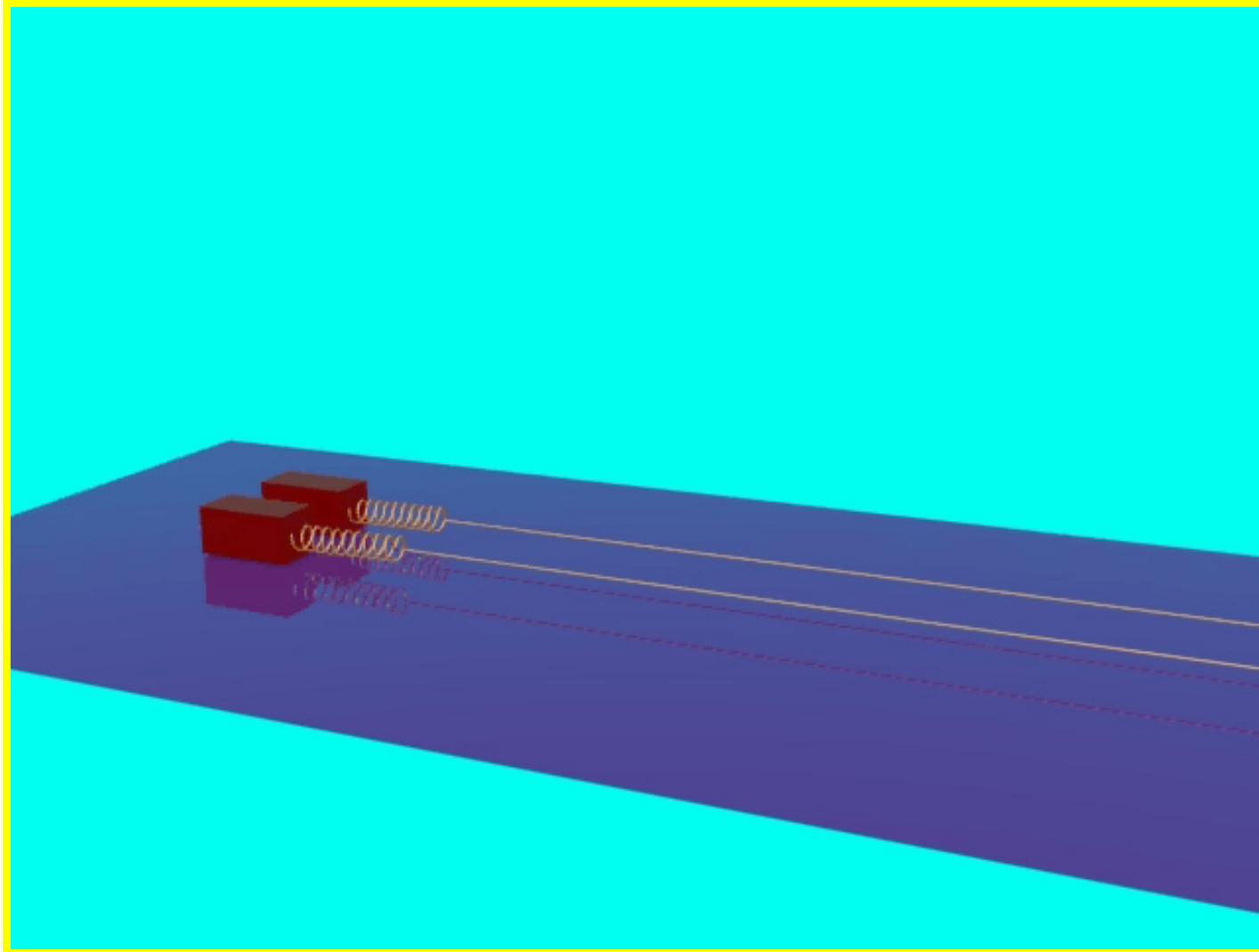
ニュートンの第2法則

物体が力を受けるとき、力の向きに力の大きさに比例した加速度が生じる。

力 F 、質量 m 、加速度 a とすると、

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

となる。



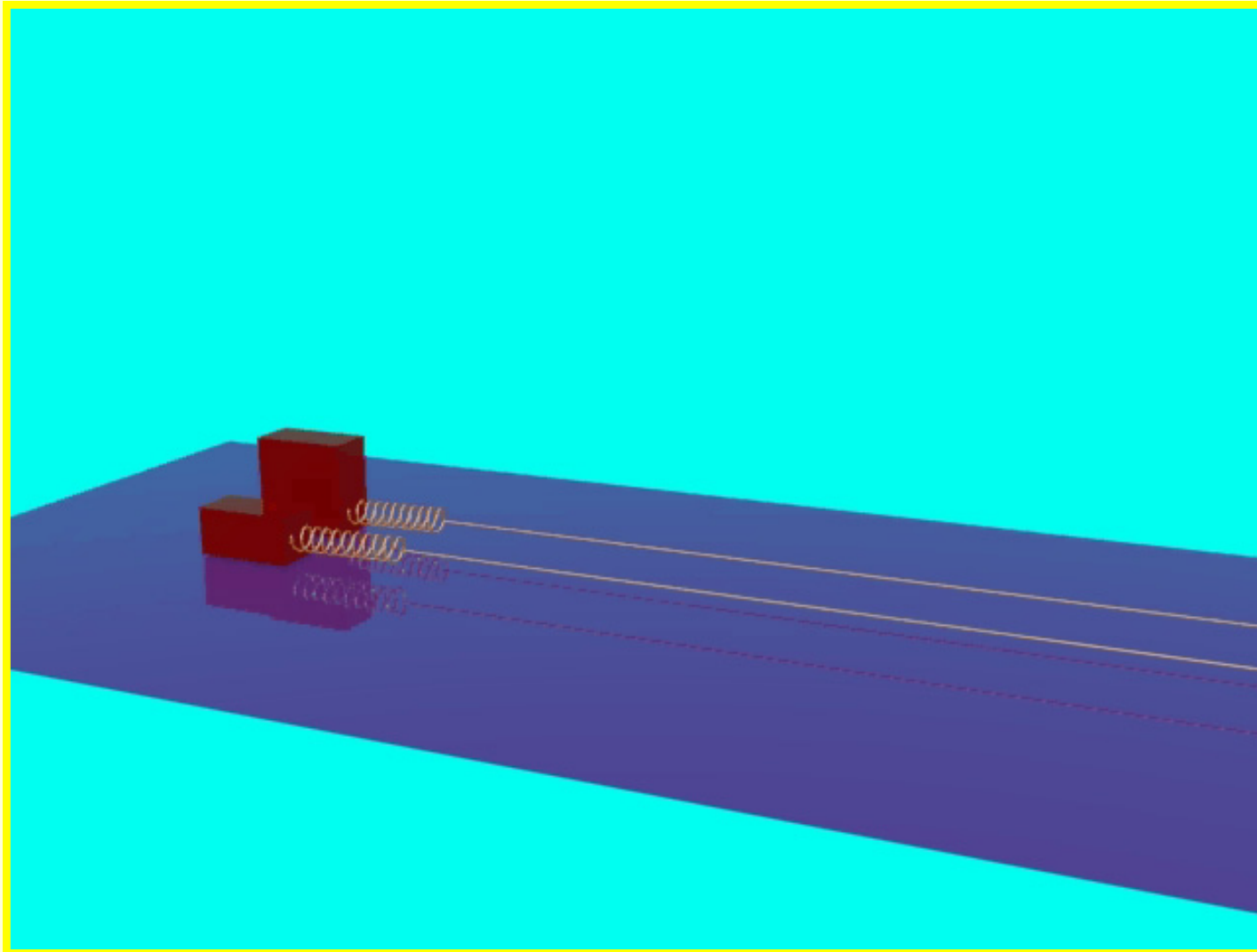
同じ質量、2倍の力

2倍の質量と2倍の力

F と $2F$

m と $2m$

加速度は？



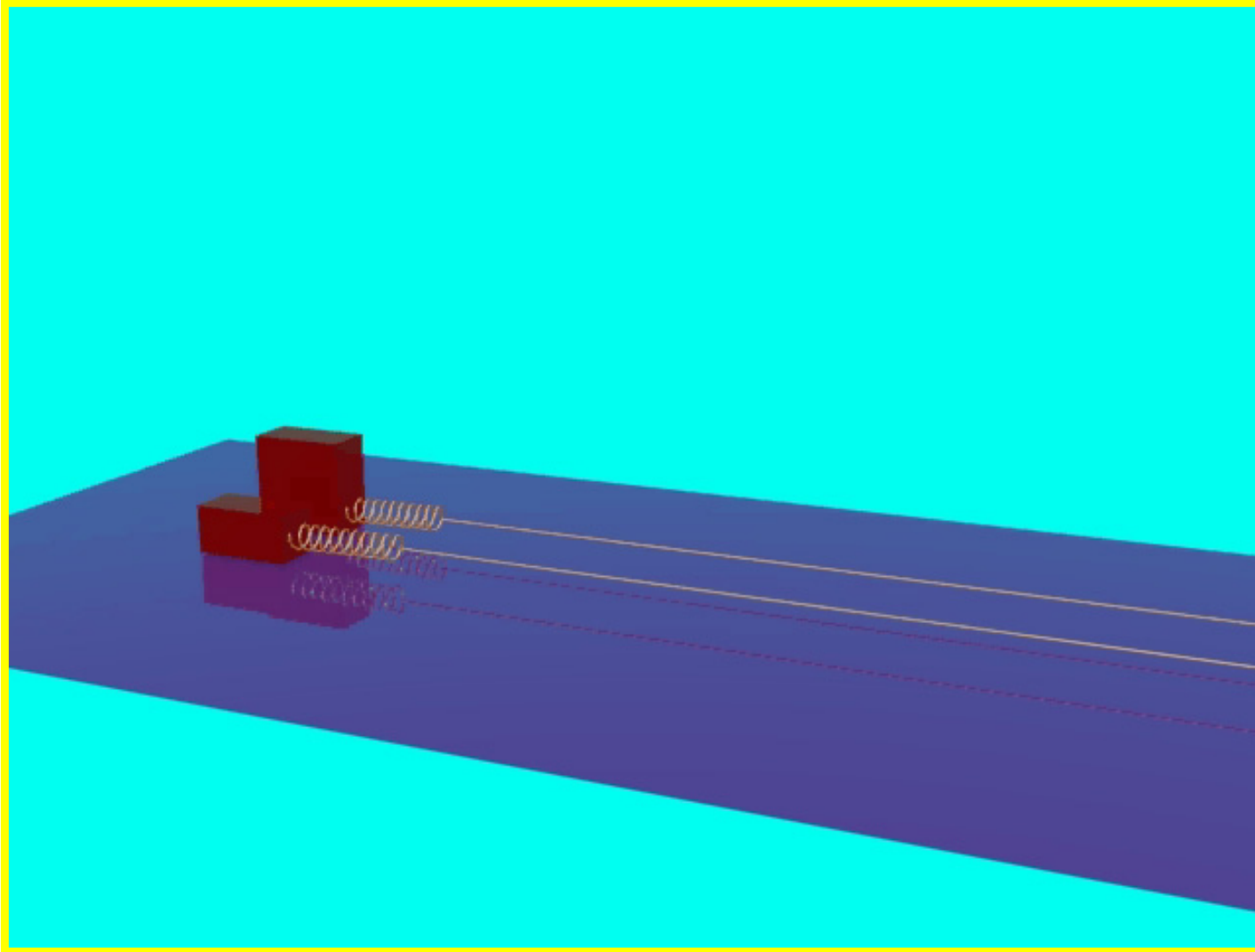
2倍の質量、2倍の力

2倍の質量で同じ力の場合

F と F

m と $2m$

加速度は？



2倍の質量、同じ力

重力による力

自由落下のときの加速度 a は、 $a = -g$ なので、

$$F = ma = -mg$$

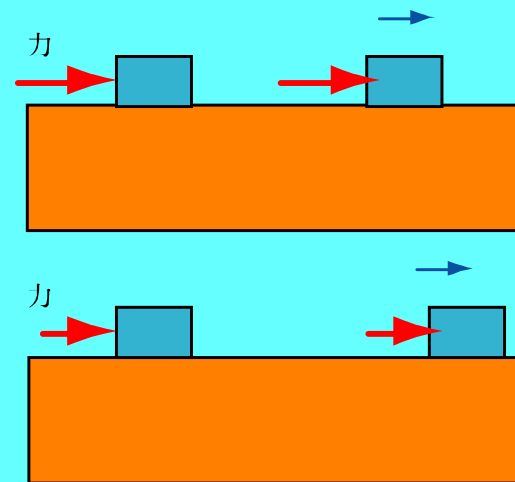
という等加速度運動をする。



問題

摩擦の無視できる床におかれた箱が静止している。一定の力を少しの時間与え続けてある速度になった。力が半分のとき、同じ速度に達するためには、力を加える時間は何倍でなければならないか？

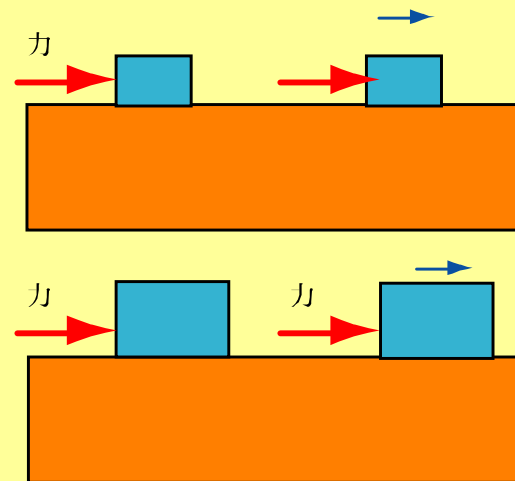
- (A) $1/2$
- (B) 1倍
- (C) 2倍
- (D) 4倍



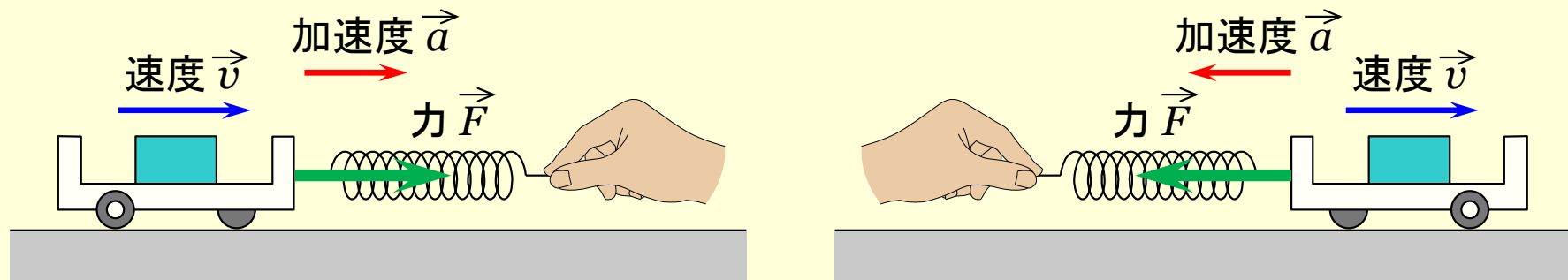
問題

摩擦の無視できる床におかれた箱が静止している。一定の力を少しの時間与え続けてある速度になった。同じ力を同じ時間だけ質量が2倍の箱に与え続けると、最終速度はもとの箱の何倍か？

- (A) 1/4
- (B) 1/2
- (C) 1倍
- (D) 2倍
- (E) 4倍



運動の法則(狭義): 運動の第2法則



図のように、台車が進行する向きと同じ向きに力を受けると台車の速度は増加し、反対向きの力を受けると減少する。このことから、台車に働く力 F の向きと台車の加速度 a の向きは同じであることがわかる。この実験結果から、「物体に生じる加速度の向きは、物体が受けている力の向きと同じで、加速度の大きさは力の大きさに比例し、物体の質量に反比例する。」

これを運動の第2法則または**運動の法則**という。この関係は加速度を a 、質量を m 、力を F とすると、次のように表される。

$$\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m} \quad (k: \text{比例定数}) \quad \longrightarrow \quad \boxed{\vec{F} = m \vec{a}} \quad (\text{運動の方程式})$$

運動の法則は、あらゆる物体の運動について成立する。また、物体が多くの力を受けて運動しているときには、 F はそれらの力の合力を表す。

ニュートンの第3法則

いすに乗った人を押すとどうなるか？



作用・反作用の法則：運動の第3法則

「物体Aが物体Bに力を及ぼすとき、物体Aは物体Bから反対の力を受ける。このとき、前者を作用、後者を反作用とよぶ。両者の力は大きさが等しく、作用する向きが反対である。」

上記のような性質を運動の第3法則、または**作用・反作用の法則**とよぶ。右図のように、ロケットの推進力は燃料を燃やしてガスを吹き出し、その反作用でガスはロケットを押し返す。したがって、ロケットは上方へ強く押されて発進することとなる。



詳しくは次週へ

必修範囲・・・3-1～7、11

講義で省略した部分は自習しておいてください
例題をよく考えて理解しておこう

3-8、9は次回で扱う予定です。

3-10は講義では省略します。