生活の中の物理学
Physics in Everyday Phenomena

第4回　2026/10/12

第2章　力学ー保存則という考え方

真貝　寿明
Hisaaki Shinkai



真貝の武庫川講義ページtop

https://www.oit.ac.jp/labs/is/system/shinkai/mukogawa/

レポート課題締め切り10月31日　詳細は前回プリント配布

レポート課題



課題

- 課題タイトル　　**寺田寅彦『〇〇〇』を読んで**
- 内容を簡単にまとめた後，自身で考えたこと（調べたこと・研究したこと）を述べよ．
  （絶賛する必要はない．寺田のコメントに異論があれば，そのようにレポートして欲しい．）

提出手順

- A4 用紙 3-4 枚程度．手書き・PC 印刷どちらも可．表紙は不要．（手書きの場合は写真撮影したものを提出）
- 必要であれば，図や表を添付してよい．（上記のページ枚数に含める）．
- 〆切は，10月31日（土）22:59
  Google Classroom の課題として提出．
- 提出ファイルの名前は，「P 大日 XXXXXXX 〇〇〇〇」の形式とすること．（XXXXXXX は学籍番号，〇〇〇〇は氏名）とすること．本文中にも学籍番号と氏名を記入すること．
- 参考とした文献 (web ページ含む) などがあれば，**必ず**記すこと．剽窃行為が認められる場合は評価を下げます．（参考文献から引用するのは構いませんが，引用範囲は必ずそう明記すること．）

前回のミニッツペーパーから

【物理】

エジプトの砂に水を含ませると，滑りやすくなる

2014/5/6

Did slippery sand help Egyptians build the pyramids?

エジプトに残された絵画には，石像を運ぶ列に水を持つ人々が描かれていた．宗教的なものと考えられていたが，この理由を考えた物理学者は，潤滑油であるとの説を論文発表した．少量の（５％程度の）水を加えると，物質を引く力は20%ほど小さくて済む，という．加えすぎると逆に粘性が生じることもわかった．

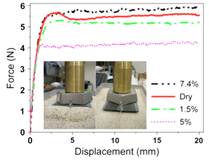


FIG. 2 (color online). Force-displacement curves for wet and dry Iranian sand. Inset: Picture of the setup. The picture on the left was taken while sliding over dry normalized sand. The picture on the right was taken while sliding over normalized sand wetted with 5% water. In the dry sand, a heap clearly builds up in front of the sled. The 11 × 7.5 cm sled is made out of PVC with rounded edges (as the Egyptian sled) and a roughness of 35 μm with sandpaper on its bottom; the results were qualitatively similar but less reproducible with a smooth bottom.

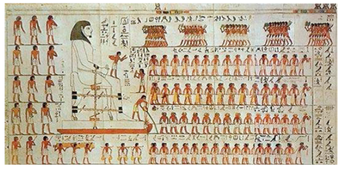


FIG. 1 (color online). Wall painting from 1880 B.C. on the tomb of Djehutihotep [1]. The figure standing at the front of the sled is pouring water onto the sand.

PRL 112, 175502 (2014) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 2 MAY 2014

Sliding Friction on Wet and Dry Sand

A. Fall,[1] B. Weber,[1] M. Pakpour,[1,2] N. Lenoir,[1] N. Shahidzadeh,[1] J. Fiscina,[4,5] C. Wagner,[4] and D. Bonn[1]
[1]Van der Waals-Zeeman Institute, IoP, University of Amsterdam, Science Park 904, 1098XH Amsterdam, Netherlands
[2]Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, P.O. Box 45195-1159 Zanjan, Iran
[3]Material Imaging, UK Novare, 77420 Champs-sur-Marne, France
[4]Experimental Physics, Saarland University, D-66123 Saarbrücken, Germany
[5]Geotextiles Group, TATA Institute of Fundamental Research, 1 Homi Bhabha Road, 400005 Mumbai, India
(Received 28 August 2013; revised manuscript received 13 November 2013; published 29 April 2014)

We show experimentally that the sliding friction on sand is greatly reduced by the addition of some—but not too much—water. The formation of capillary water bridges increases the shear modulus of the sand, which facilitates the sliding. Too much water, on the other hand, makes the capillary bridges coalesce, resulting in a decrease of the modulus; in this case, we observe that the friction coefficient increases again. Our results, therefore, show that the friction coefficient is directly related to the shear modulus; this has important repercussions for the transport of granular materials. In addition, the polydispersity of the sand is shown to also have a large effect on the friction coefficient.

http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.112.175502
http://physicsworld.com/cws/article/news/2014/may/06/did-slippery-sand-help-egyptians-build-the-pyramids
http://physicsworld.com/cws/article/news/2007/dec/03/wet-sand-flows-better-than-dry

46

古代史の不思議はよく祭祀的意味で捉えられるので，物理の視点からちゃんと理由付けがされるという点が非常に面白いと感じました．エジプトなので，乾燥した空気であったこと"もこの物理法則が成り立つ好条件であったのかな？と考えています．古代の人々が自然法則をどう理解しているのかより一層興味がでました．面白い講義をありがとうございます．

砂に水を含ませると滑りやすくなる件について．保育所でサルを地面にこすりつけることにハマっていたとき，雨あがりの方が進みやすかったことを思い出しました．

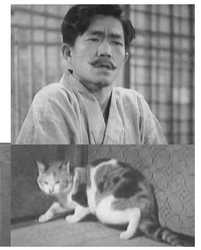
【漱石に物理】

猫 (1905年，映画化1936年)



吾輩は猫である。名前はまだ無い。
どこで生まれたか頓と見當がつかぬ。何でも暗薄いじめじめした所でニャー／＼泣いて居た事丈は記憶して居る。吾輩はこゝで始めて人間といふものを見た。然もあとで聞くとそれは書生といふ人間で一番獰惡な種族であつたさうだ。此書生といふのは時々我々を捕へて煮て食ふといふ話である。然し其當時は何といふ考もなかつたから別段恐しいとも思はなかつた。







丸山定夫 (主人、珍野苦沙弥)
(吾輩)

徳川夢声 (迷亭)
藤原釜足 (越智東風)　北沢彪 (水島寒月)

https://www.youtube.com/watch?v=RwCGXFbN7yo

33

吉の映像は動物のあつかいが雑だなと思いました．(吾輩は猫であるの映像を見て)

本日の講義も、楽しくおもしろかったです。ありがとうございました。

動画での実験、今日の等速直線運動の実験も楽しかったです。

ノーベル物理学賞受賞者 2026年

Nobel Laureates in Physics 2026

http://www.nobelprize.org/

“IceCube ニュートリノ観測所への決定的な貢献と宇宙物理起源の高エネルギーニュートリノの発見”

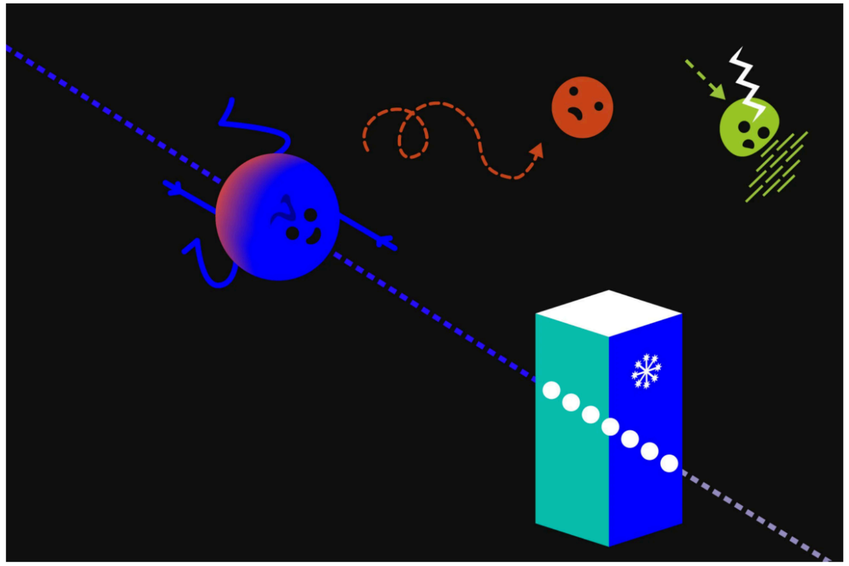


フランシス・ハルツェン
米ウィスコンシン大マディソン校



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Physics 2026 to
Francis Halzen
“for decisive contributions to the IceCube Neutrino Observatory and the discovery of high-energy neutrinos of astrophysical origin.”



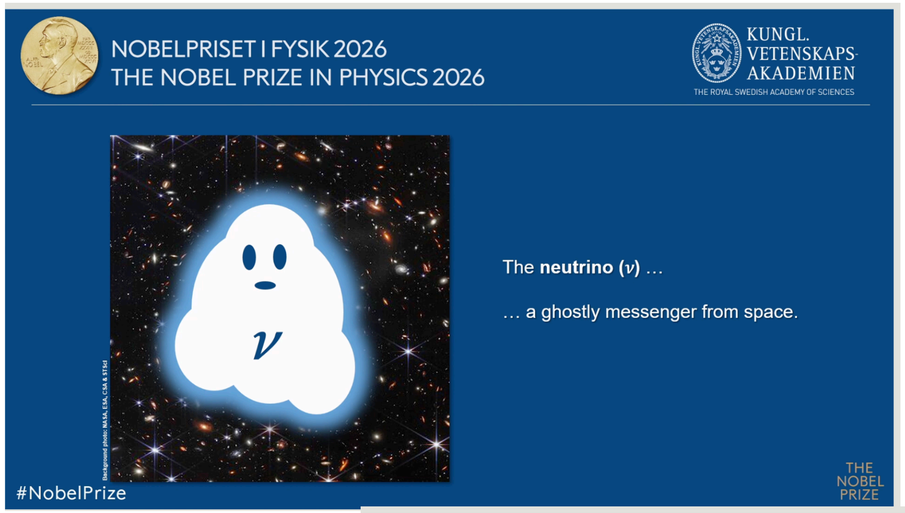
© Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

ノーベル物理学賞 2026年

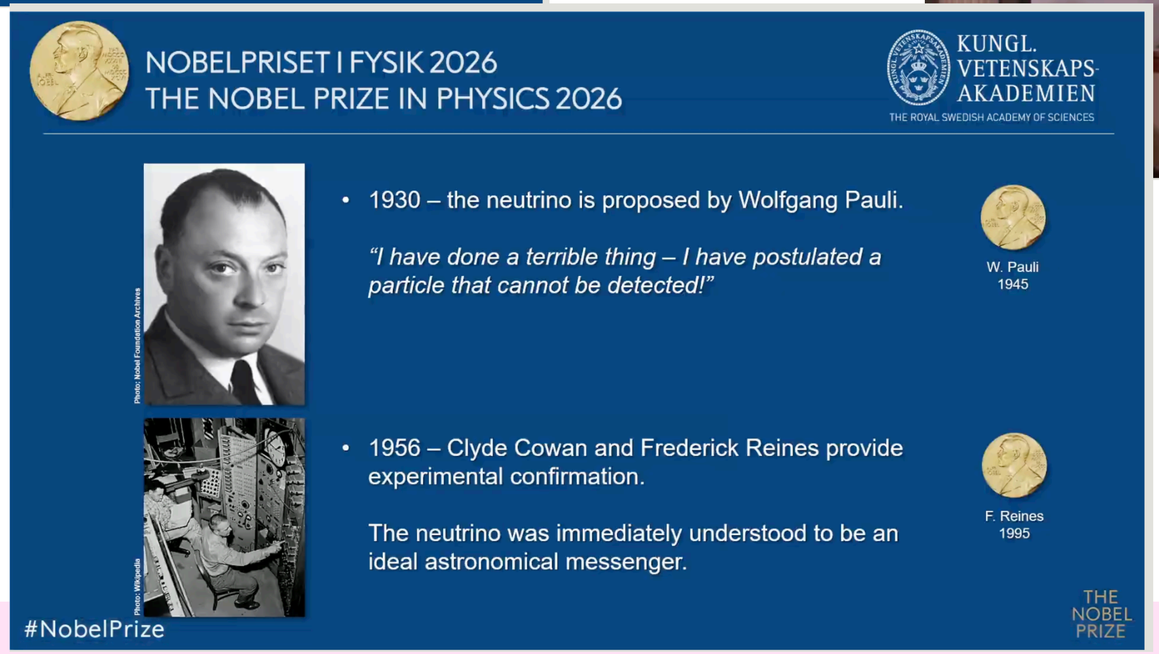
Nobel Laureates in Physics 2026

http://www.nobelprize.org/

“IceCube ニュートリノ観測所への決定的な貢献と宇宙物理起源の高エネルギーニュートリノの発見”







ノーベル物理学賞 2026年

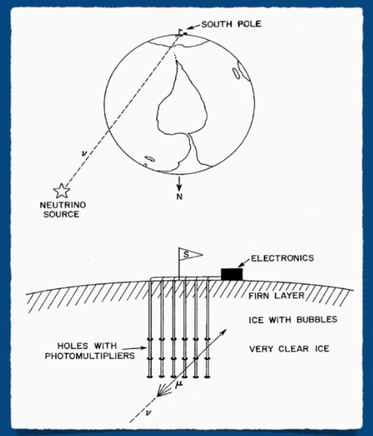
Nobel Laureates in Physics 2026

http://www.nobelprize.org/

“IceCube ニュートリノ観測所への決定的な貢献と宇宙物理起源の高エネルギーニュートリノの発見”

NOBELPRISET I FYSIK 2026
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2026

KUNGL. VETENSKAPS-AKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



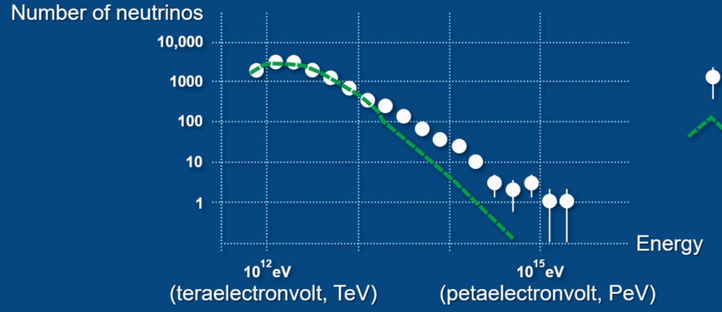
- High-energy neutrinos from astrophysical sources are very rare.
  - Cubic-kilometre-sized detectors are needed.
- In 1988, Francis Halzen proposed to use Antarctic ice.

F. Halzen and J. Learned, Proc. 5th International Symposium on Very High-Energy Cosmic-Ray Interactions, Łódź, Poland.

#NobelPrize

NOBELPRISET I FYSIK 2026
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2026

KUNGL. VETENSKAPS-AKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

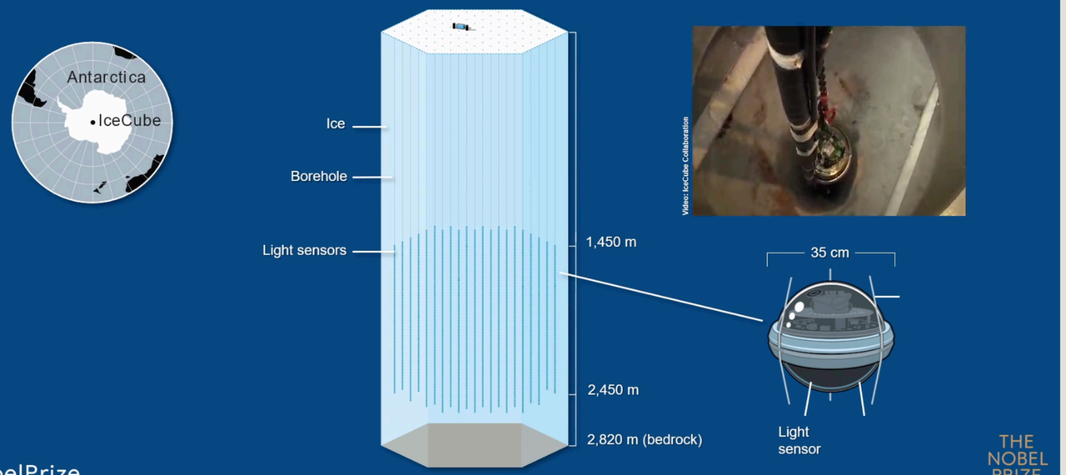


Based on: IceCube Collaboration, Physical Review Letters 136 (2026) 121002.

#NobelPrize

THE NOBEL PRIZE

NOBELPRISET I FYSIK 2026
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2026



#NobelPrize

THE NOBEL PRIZE

日本人のノーベル物理学賞　受賞者　(ニュートリノ)

Nobel Laureates in Physics: Japanese Laureates



小柴昌俊（2002）

ニュートリノ天文学の先駆的な貢献に対して

jointly to Raymond Davis Jr. and Masatoshi Koshiba "for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos" and the other half to Riccardo Giacconi "for pioneering contributions to astrophysics, which have led to the discovery of cosmic X-ray sources".



梶田隆章（2015）

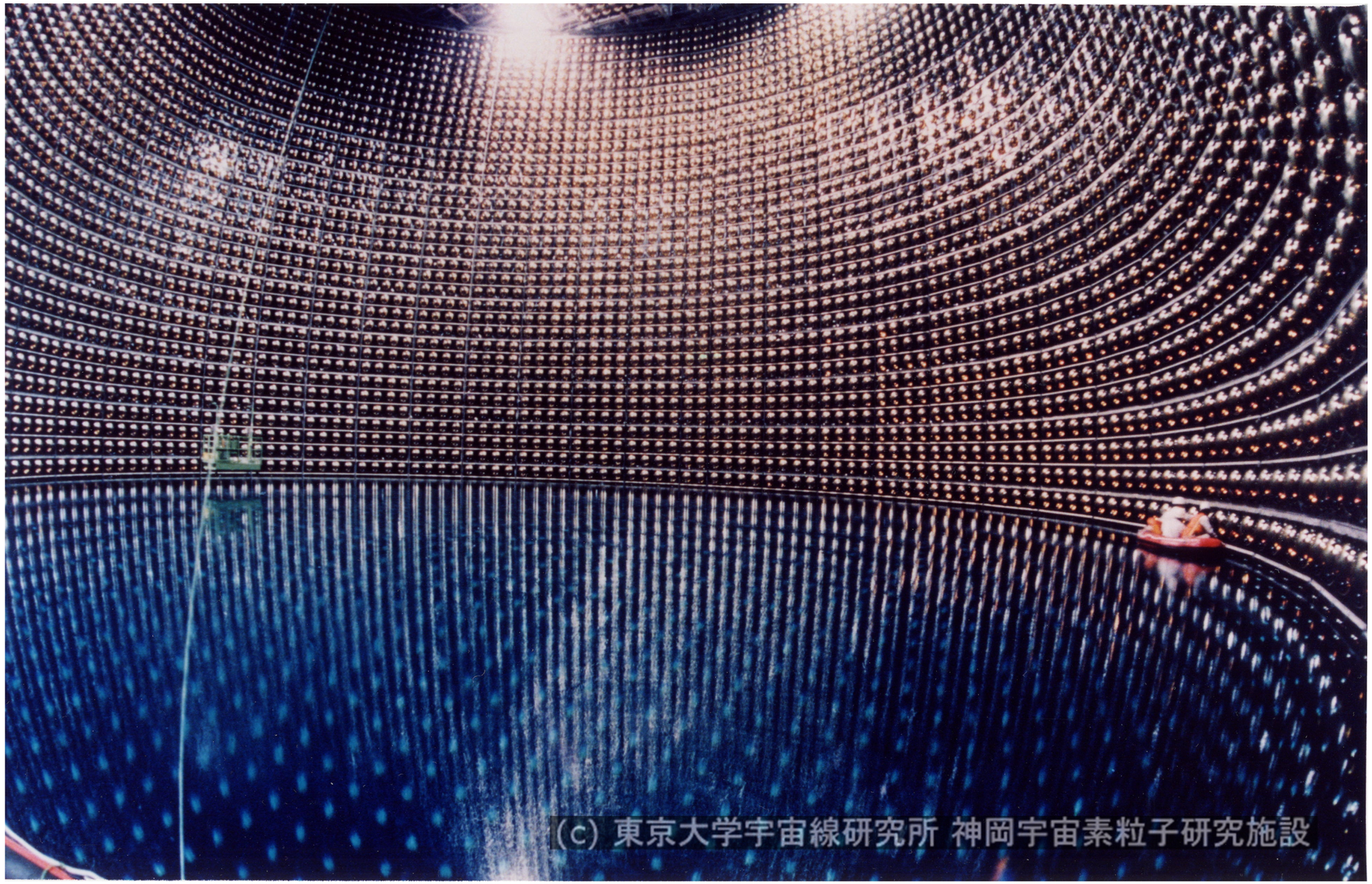
ニュートリノに質量があることを示したニュートリノ振動の発見

for the discovery of neutrino oscillations, which shows that neutrinos have mass

Nobelprize.org

The Official Web Site of the Nobel Prize

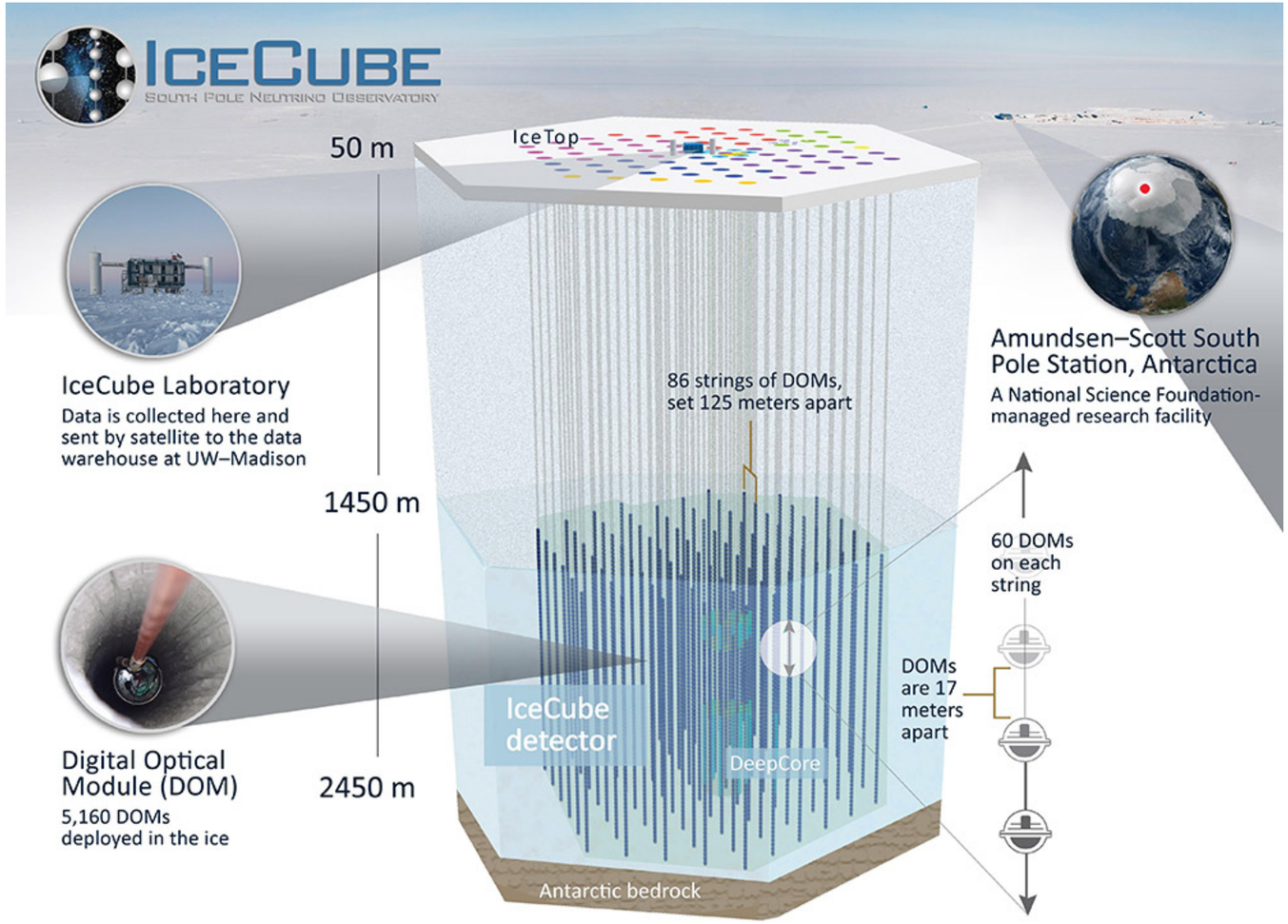
スーパーカミオカンデ（Super-Kamiokande、Super-K）



岐阜県神岡鉱山跡

ノーベル物理学賞 2026年

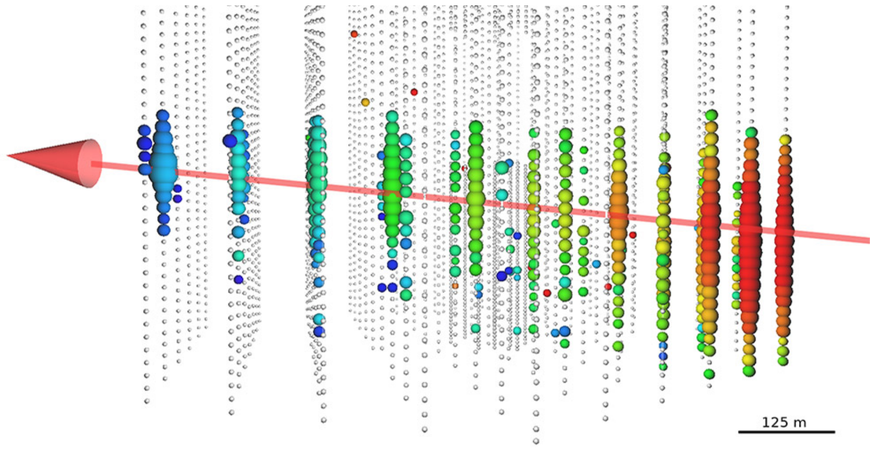
Nobel Laureates in Physics 2026



https://www.icehap.chiba-u.jp/icecube/img/icecubeImg04.jpg

IceCubeニュートリノ観測施設は、氷河上に建てられたIceCube実験制御室ICL（IceCube Laboratory）を中心に直径 1 km にわたり氷河下に埋設された 86本 のケーブルに連なった計5160個 もの検出器で形成されている。

検出器は、地上下 1450mの位置から 2450m の深さにまで埋設され、観測施設の全体の大きさは富士山の6 合目の高さと同じくらい。



起源天体同定のきっかけとなったニュートリノ事象「IC170922A」

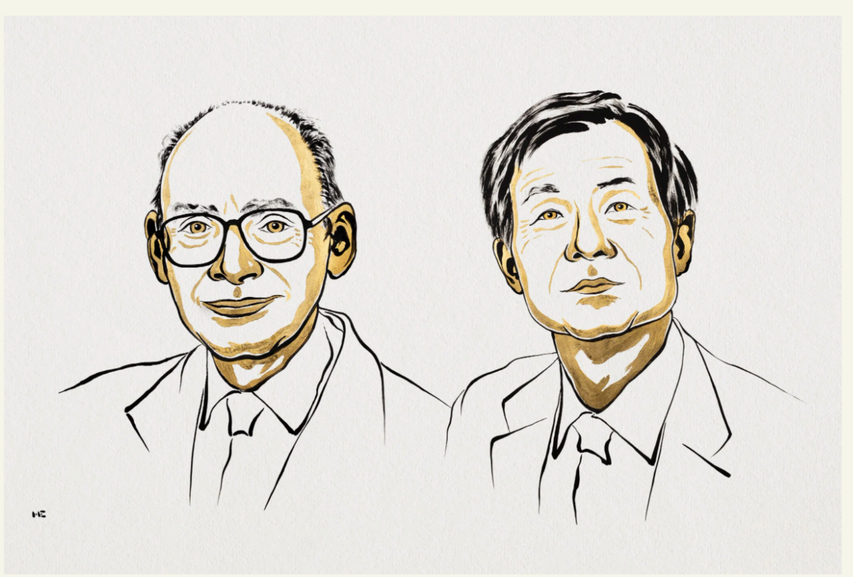
https://www.icehap.chiba-u.jp/icecube/icecube.html

ノーベル化学賞受賞者 2026年

Nobel Laureates in Chemistry 2026

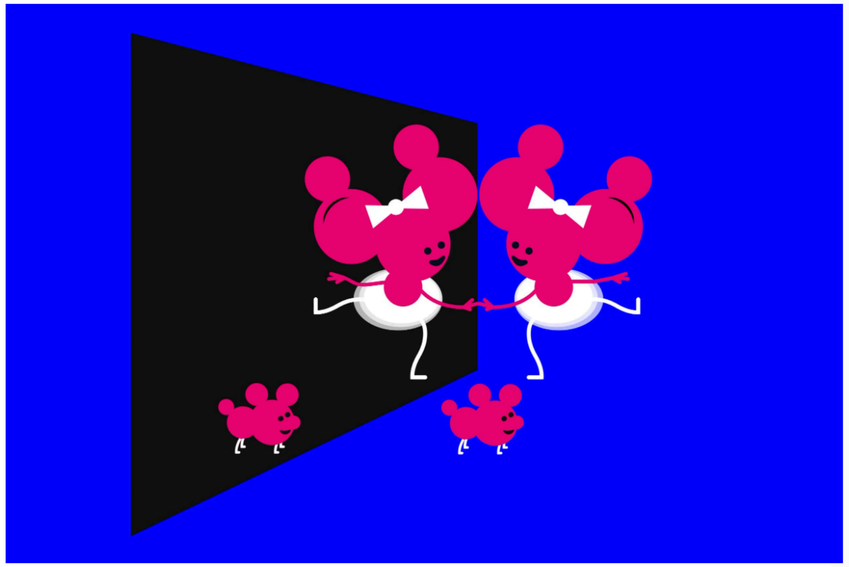
http://www.nobelprize.org/

“不斉有機合成における非線形効果および自己触媒作用の発見に対して”



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Chemistry 2026 to Henri B. Kagan and Kenso Soai
“for the discovery of non-linear effects and autocatalysis in asymmetric organic synthesis.”



© Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

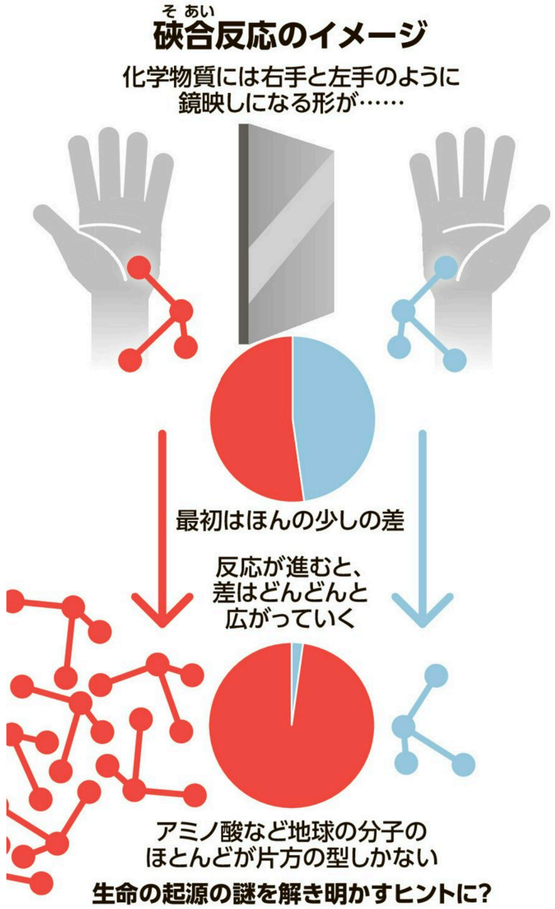
アンリ・カガン　Université Paris-Sud, Orsay, France
硲合憲三　東京理科大学名誉教授

ノーベル化学賞受賞者 2026年

Nobel Laureates in Chemistry 2026

http://www.nobelprize.org/

“不斉有機合成における非線形効果および自己触媒作用の発見に対して”



砂合（そあい）反応のイメージ



ノーベル化学賞の受賞が決まり、会見で笑顔を見せる東京理科大の砂合憲三名誉教授=2026年10月7日午後10時21分、東京都新宿区、恵原弘太郎撮影

砂合憲三　　東京理科大学名誉教授

不斉自己触媒反応を発見

https://digital.asahi.com/articles/ASVB751BBVB7ULLI00VM.html?iref=comtop_7_01

日本人のノーベル賞　受賞者

Nobel Laureates: Japanese Laureates

	物理学賞	化学賞	生理学・医学賞
2026		硤合憲三	
2025		北川進	坂口志文
2021	眞鍋淑郎*(米国籍)		
2019		吉野彰	
2018			本庶佑
2016			大隅良典
2015	梶田隆章		大村智
2014	赤崎勇, 天野浩, 中村修二*(米国籍)		
2012			山中伸弥
2010		鈴木章, 根岸英一	
2008	南部陽一郎*(米国籍), 小林誠, 益川敏英	下村脩	
2002	小柴昌俊	田中耕一	
2001		野依良治	
2000		白川英樹	
1987			利根川進
1981		福井謙一	
1973	江崎玲於奈		
1965	朝永振一郎		
1949	湯川秀樹		

12人（このうち米国籍3人）　10人　6人

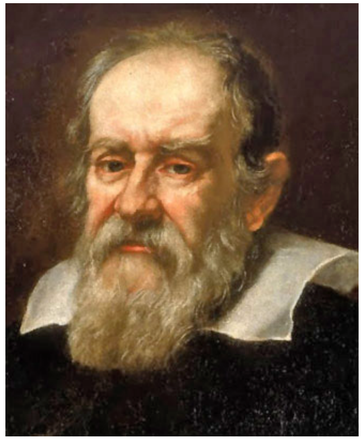
1994	大江健三郎	文学賞
1974	佐藤栄作	平和賞
1968	川端康成	文学賞

○第２章　力学―つりあいと運動 ―――――――――――――――――― 25
2.1　速度・加速度―「いつ・どこにある」：運動を決める基本ツール　26
2.2　いろいろな運動・いろいろな力―名前を聞けば想像がつく運動状態　33
2.3　運動の法則―力を加えると，生じるのは加速度だった　48
2.4　重力による運動―リンゴの落下から惑星運動まで　58
2.5　保存則という考え方―世の中には保存する量がある　67
2.6　回転する運動―遠心力は見かけの力　75

第1法則： 慣性の法則（law of inertia）

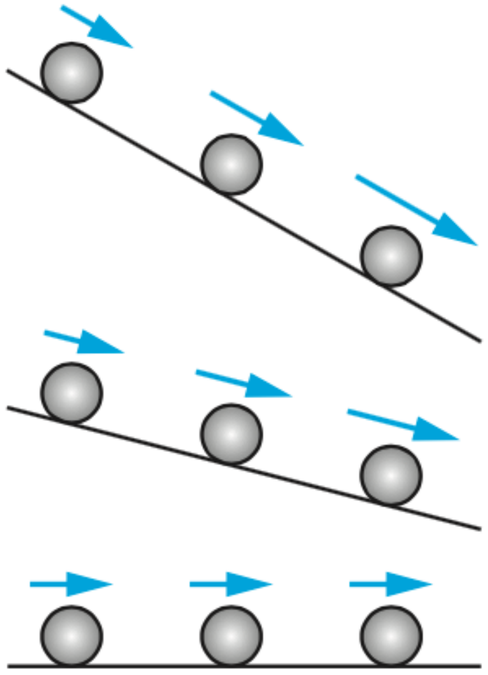
法則 ニュートンの運動法則（第１法則）：慣性の法則

物体は慣性をもつ（そのままの運動状態を保とうとする）．力を加えなければ，物体は等速直線運動を行う．



Galileo Galilei
(1564-1642)

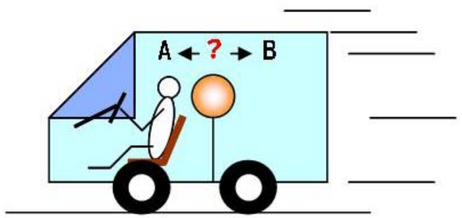
斜面に球を置いて手をはなすと，球は加速しながら転がり落ちる．斜面の角度を急にすれば加速は一層速くなる．一方で斜面の上向きにボールを放つとボールは減速してゆく．この場合も減速は斜面の角度に依存する．それでは，水平面ならば，ボールはどのように動くだろうか．—-加速も減速もせず，そのままの運動を保ち続けると考えるのが自然である．（『天文対話』1632 年）



前回のミニッツペーパーから

〔3-1〕車が急ブレーキを踏んだ. 車内で浮かんでいる風船は, 前へ？それとも後ろへ？ 理由もつけて答えよ.

前へ　14名
後ろへ　7名





前へ

風船も車と同じ速度を持っていたから。

慣性力が働いていて、
急ブレーキを踏むことで進行方向と反対に
車に摩擦力がかかり減速するが
浮かんでいる風船には影響しないから。

前に倒れると考える普段車とのって急ブレーキしたときに体が前に出るので風船も同じかなと思いました。

風船は慣性の法則で急ブレーキを踏む前の速度で前方へ進むが、車は急ブレーキを踏んだことにより前方へ進む速度が減少するため。

風船は車とともに前へ進んでいたため
車が急ブレーキを踏んでも前へ進もうとする。

慣性の法則で、止めなければ車が進んでいた方向に進みつづけるから。 (3-4

車が急ブレーキをかけても、風船は前向きの速度を保とうとするから。

動いている車の内では、風船も進んでいる向きに力が加わっていると考えると、その力が急になくなったら前に行くと思った。

進行方向に進んでいたもの(浮んでたもの)が急に止まるため慣性の法則で前に進もうとするから。

人も急ブレーキの衝撃で前に振れるから。← エアバックが前にでるのはそれが理由ですか？

後ろへ

急ブレーキをかけると車内の空気圧の差による浮力が後方に働くため。

急ブレーキを踏んだ分 後ろに引張る力が加わるから。

後ろへ動くと考える。
車が急ブレーキを踏むと、風船はそれまで車と一緒に前向きに動いていた慣性によって、そのまま前へ進もうとする。
そのため車から見ると風船は、後ろに動く。

後ろに行く
車に乗っている時に止まる際、人の体も後ろに行くため。

車内の空気や風船は前に動く。
だから逆に風船は後ろに動く。

車内前方の方が気圧が高く、空気より軽い風船は、気圧の高い前から押し戻されるから。

車が急ブレーキをかけると、車内の空気は前方へ移動するため、空気より軽い風船はその反対方向である後ろへ行く。

急ブレーキをかけると、車内の空気が前方に偏り、前側の気圧が高くなる
↓
空気より軽い風船は気圧差による浮力が後ろに動く。

第2法則: 運動の法則 （equation of motion）

力を加えると

大きさだけではなく，
向きを含めて成り立つ

重力(万有引力)
摩擦力(抵抗力)
抗力
弾性力
張力
浮力
大気圧の力
電気の力
磁石の力
・・・・・

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

加速度が生じる

速度がわかる
位置がわかる

運動がわかる！

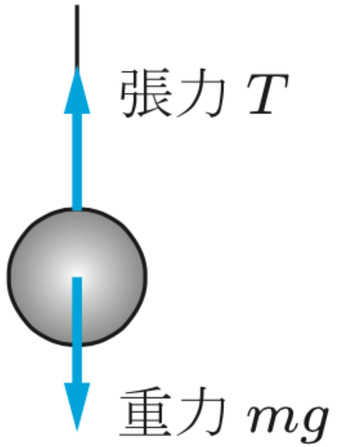
等速直線運動
等加速度運動
加速度運動
放物運動
単振動
減衰振動
円運動
楕円軌道
双曲線軌道
・・・

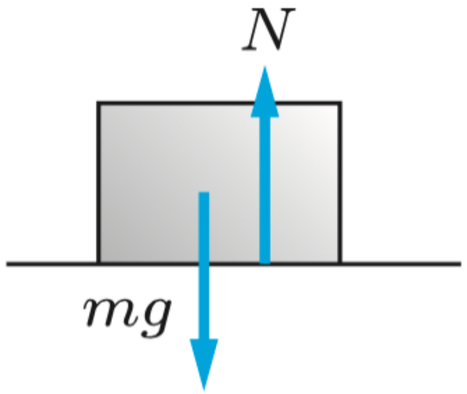
前回のミニッツペーパーから

ニュートンは等速直線運動を説明したが，
その際摩擦や空気抵抗はどう説明したのか気になりました。

力が加わると加速度が生じる（等速運動ではなくなる），と説明しました

なぜ物体には抗力や張力があるのか？そのわってどこからきてるの？





力2 **張力**　　力3 **抗力**

紐や床の物質が繋がっていようとする
分子間力＝電気的な結合力です．

宇宙に空気がないことと重力を感じないことは何か関係がありますか。

月に空気がないのは，月の重力が弱く，
空気分子が月から脱出してしまうから．

前回のミニッツペーパーから

【少し高級な疑問】第2法則があれば，第1法則はいらない？

Advanced　第 1 法則は不要か？

力がつりあって，合力がゼロであるときを考えよう．

$$\sum_i \boldsymbol{F}_i = 0$$

この式は，$\boldsymbol{a} = 0$ となり，加速度がゼロであることを意味する．積分すると，この場合の物体の速度は，$\boldsymbol{v}$ ＝ 一定 となり，等速直線運動をすることになる．

聡明な読者は，「それでは，ニュートンの運動方程式は，慣性の法則も含んでいるので，慣性の法則は不要ではないか」と心配されるかもしれない．だが，慣性の法則が第 1 法則として君臨しているのには，相応の理由がある．

ニュートンは，まず慣性の法則を宣言して，「力がはたらかない場合には，等速直線運動をする座標系（**慣性座標系**）を考えましょう」と密かにメッセージを送っているのだ．実際には地球は自転しているし，太陽のまわりを公転している．太陽も銀河系を周回しているし，銀河系も銀河団として運動している．私たちが実験しても，本当に正確に「力がはたらかない」世界はありえない．しかし，まず，理想的な座標系を一つ宣言してしまえば，後は自由に数学を使って議論することが可能になる．慣性座標系を定義することが，第 1 法則の本当の意味だったのである．

教科書 p50

私たちが実験しても
本当に正確に「力がはたらかない」
世界はありえないが、
理想的な座標系を一つ宣言する
ことで後で自由に数学を使って
議論することができるから．

慣性 - ゼロという概念がないと
さまざまな 法則を説明できない
そもそも 加速度があるときは
慣性でないこともあるから別概念？

第1法則は、第2法則が正しく成る基準を
決めるために必要

第2法則をつかうには"力が働いていないときにどんな運動をするか"
を定義しないといけないから。

第1法則は、慣性座標系を定義するために不可欠であり、第2法則が成り立つのは
慣性座標系においてのみであるため，第1法則は必要である．

第1法則は第2法則を適用する座標系を決める基準だから必要

実験したとしても．本当に力がはたらかない世界はないので，理想的な座標を宣言することで．議論できるようになるから。

第2法則の前提条件を定めるために、第一法則が必要。

第3法則： 作用･反作用の法則 （law of action-reaction）

法則 ニュートンの運動法則（第 3 法則）：作用・反作用の法則

物体に力 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，同じ大きさで逆向きの反作用 $-\boldsymbol{F}$ が，その物体から及ぼされる．

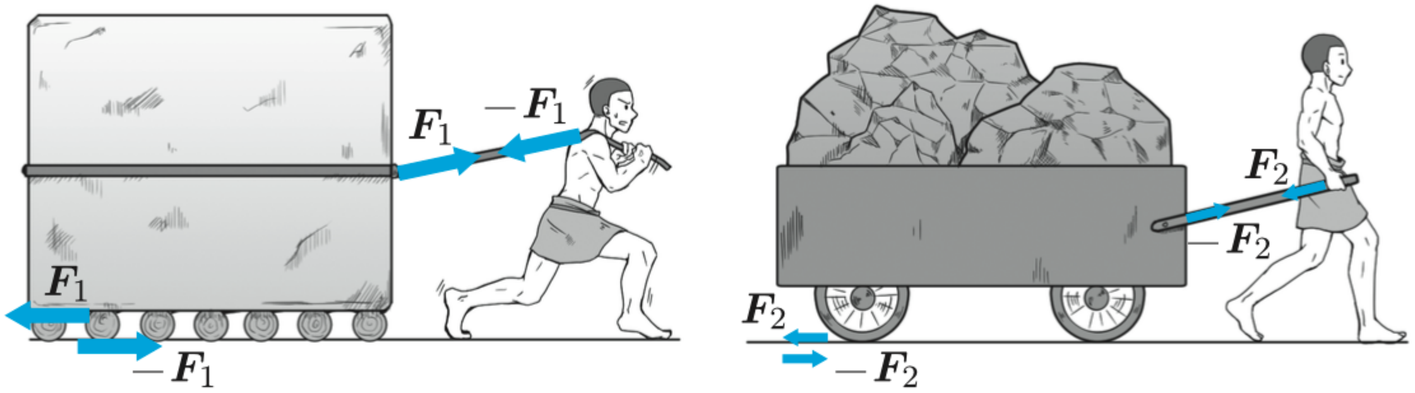
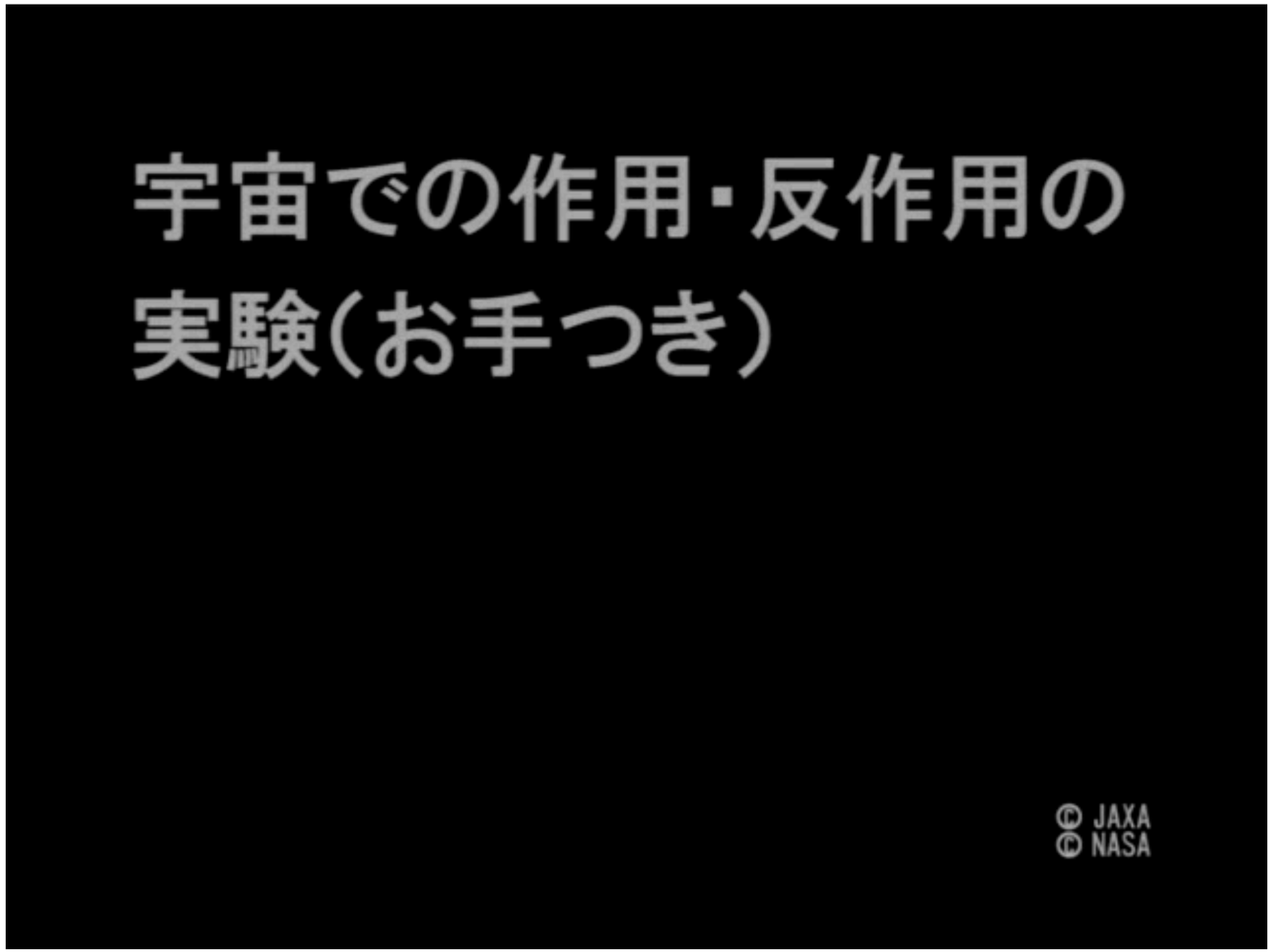


図 2.55 作用・反作用の法則 力は必ず二つの物体間で生じていて，お互いが力を介して運動する．

宇宙での作用・反作用の実験

Topic　無重量状態で頬をひっぱたく

宇宙ステーション内部では無重量状態となっていて（⟹81ページ），作用・反作用の結果が簡単に理解できる．無重量状態で浮いた状態の二人の宇宙飛行士AとBが喧嘩を始めて，AがBの頬をひっぱたいたとしよう．Bは頬に力を受けて回転を始めるが，Aも反作用で同じ力をBから受けるので，Aも逆に回転を始めることになる．



（数研出版\物理図録）

第3法則:作用・反作用の法則



大きなカブが抜けない理由

おじいさんが悪い



いろいろな運動 p33

- 運動1 等速直線運動
- 運動2 等加速度直線運動
- 運動3 鉛直方向の自由落下
- 運動4 放物運動（水平投射）
- 運動5 単振動
- 運動6 放物運動（斜め投射）
- 運動7 放物運動（空気抵抗）
- 運動8 減衰振動
- 運動9 円運動

いろいろな力 p40

- 力1 重力
- 力2 張力
- 力3 抗力
- 力4 摩擦力
- 力5 弾性力
- 力6 万有引力
- 力7 遠心力・慣性力
- 力8 コリオリ力・転向力
- 力9 圧力
- 力10 表面張力
- 力11 浮力

前回のミニッツペーパーから

教科書 p54

力4　摩擦力（運動に抵抗する力）

「この世に摩擦がなければどうなるのか」



小柴昌俊（2002）
ニュートリノ天文学の先駆的な貢献に対して

jointly to Raymond Davis Jr. and Masatoshi Koshiba "*for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos*" and the other half to Riccardo Giacconi "*for pioneering contributions to astrophysics, which have led to the discovery of cosmic X-ray sources*".

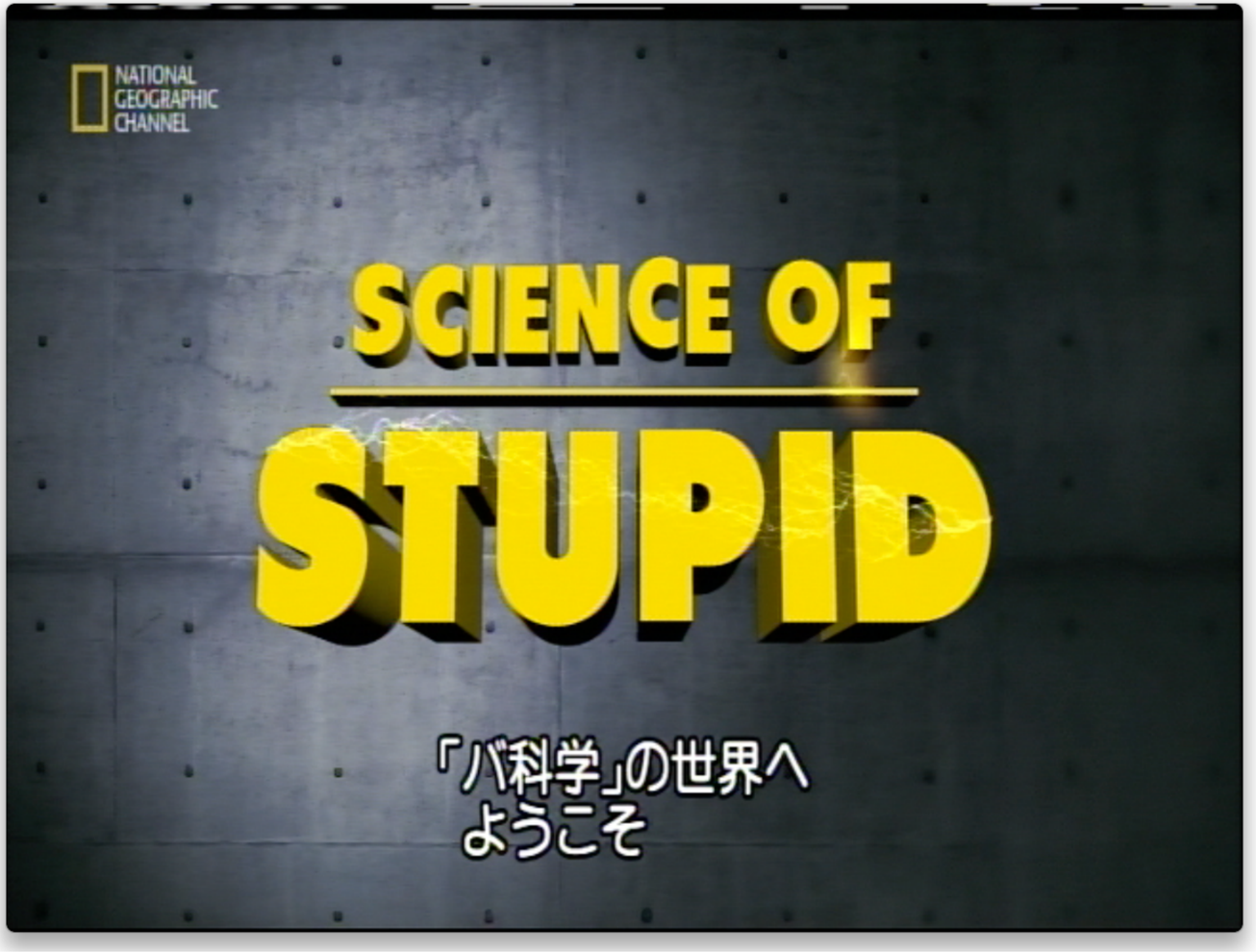
Topic　**もし摩擦がなかったら**

ノーベル物理学賞を受賞した小柴昌俊氏のエピソードには，「この世に摩擦がなければどうなるのか」という問題を試験に出したことがあるという．摩擦がないと鉛筆の先が滑って紙に文字は書けなくなる．そのため，この問題の正解は何も解答欄に記入しない白紙答案だった，という．解答を記入すると不正解になる超難問といえよう．

47



スケート はなぜ あんなに スイスイ 滑っていけるんですか？

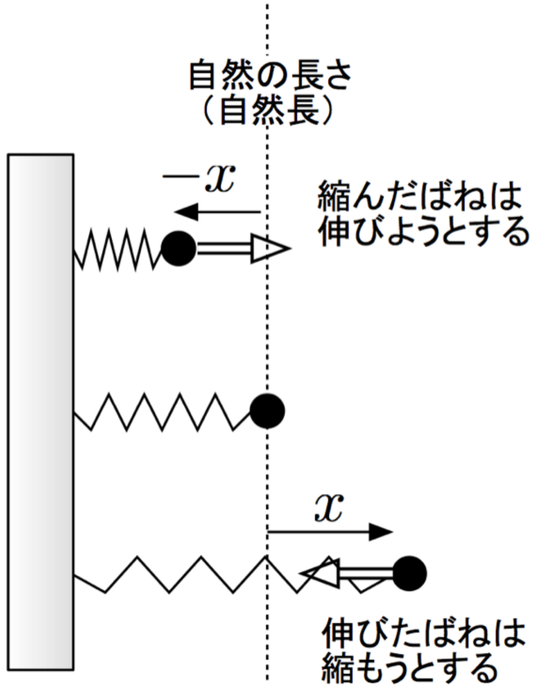


ScienceOfStupid1.mov (1:20)
sled.mov (2:30)

力5　弾性力（元に戻ろうとする力）

法則　**フックの法則**

ばねは，自然長からの変位（伸びや縮み）に比例した復元力を及ぼす．



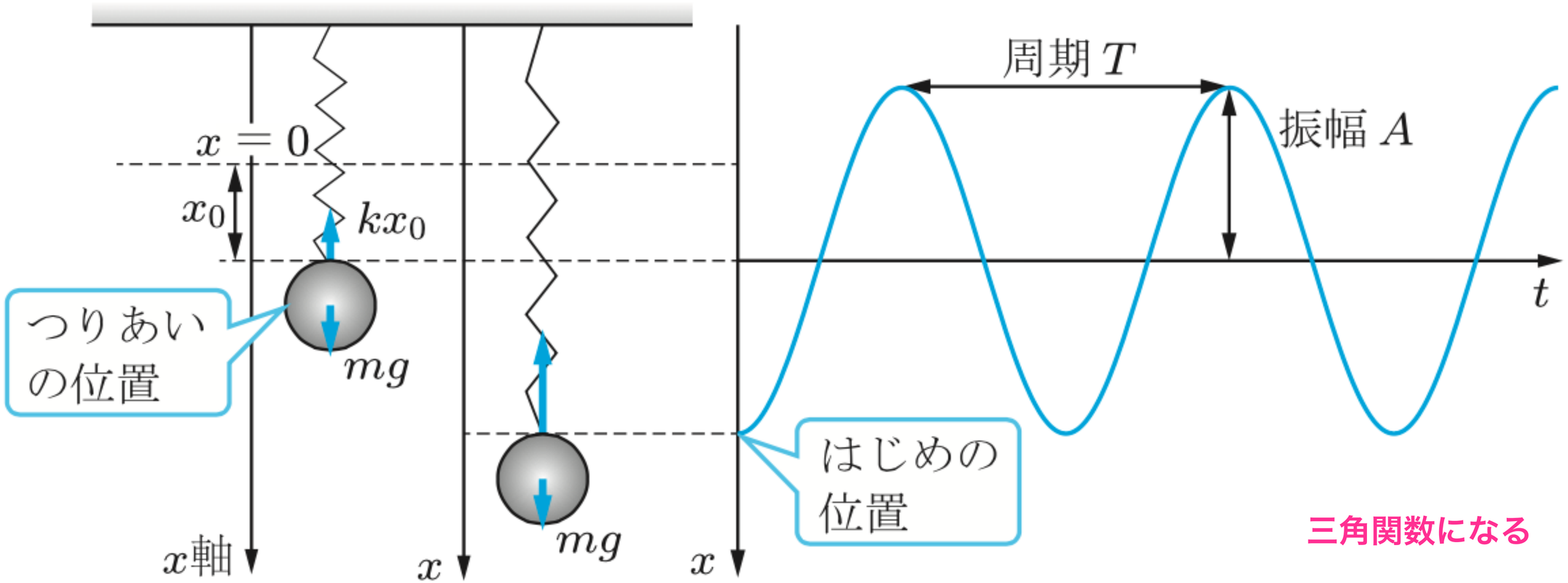
Advanced　**ばねの弾性力の正確な表現**

ばねの弾性力を向きを含めて式で表すと，自然長の位置を $x=0$（伸ばす方向を $+$，縮む方向は $-$）として，

$$F=-kx \qquad (k \text{ は正の定数}) \tag{2.36}$$

となる．式 (2.36) の右辺にマイナス記号をつけた理由は，こうしておくと，伸びたときも縮んだときも弾性力の向きを含めて表せるからだ．$x>0$ で伸びているときは $-kx<0$ で縮む向きの力に，$x<0$ で縮んでいるときは $-kx>0$ で伸びる向きの力になる．

運動5　単振動

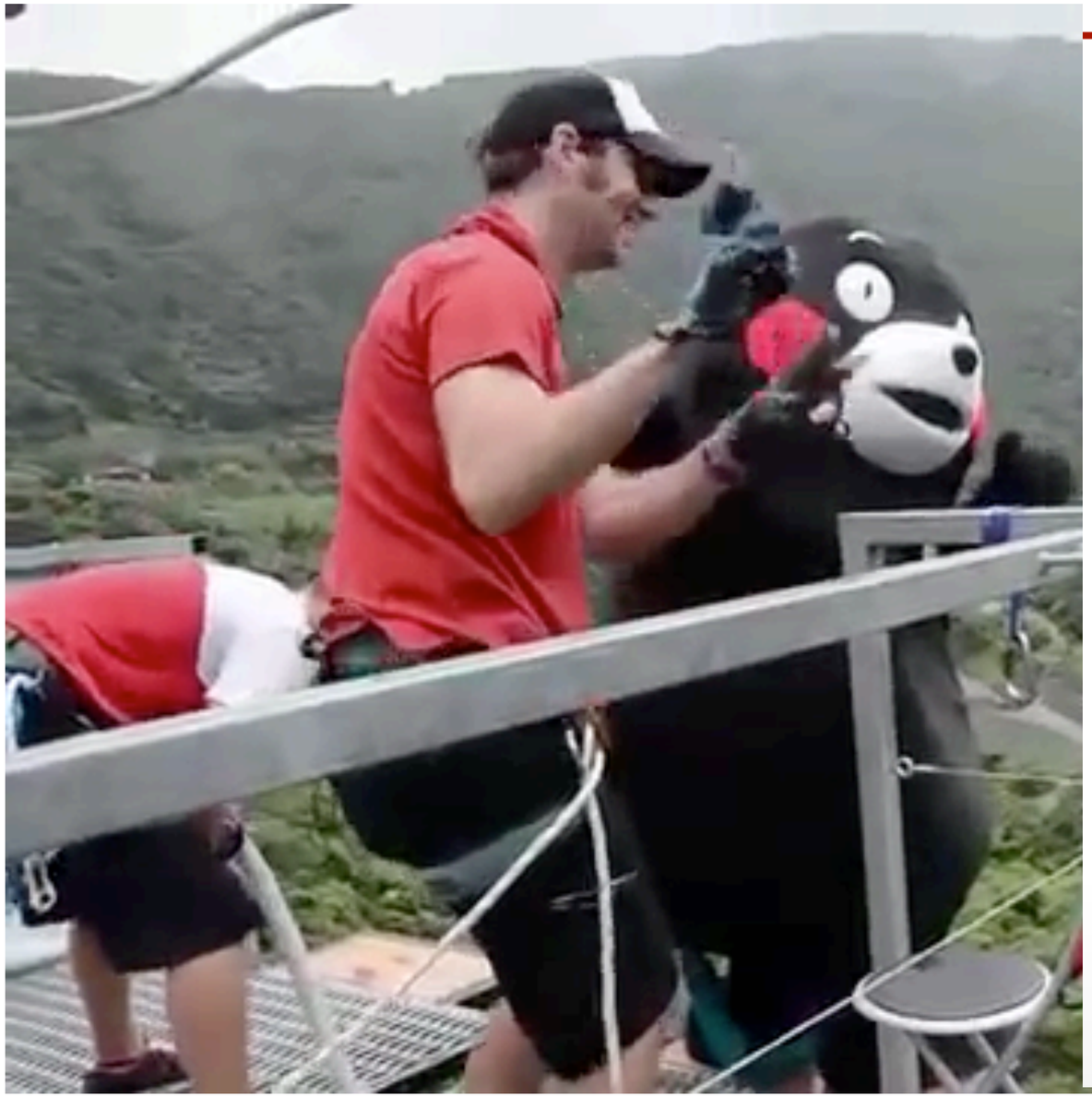


三角関数になる

図 2.6　ばねによる振動の時間変動は，単純な三角関数のグラフで書ける．振動の中心はつりあいの位置である．ばねを伸ばして初速度ゼロで手をはなすと，はじめの位置から振動中心までが振幅 A になる．一往復する時間を周期という．

【実験ですよ】

バンジージャンプ



24時刊 新着 社会 経済 政治 国際 文化 科学 スポーツ エンタメ ライフ 天気

朝日新聞 社会

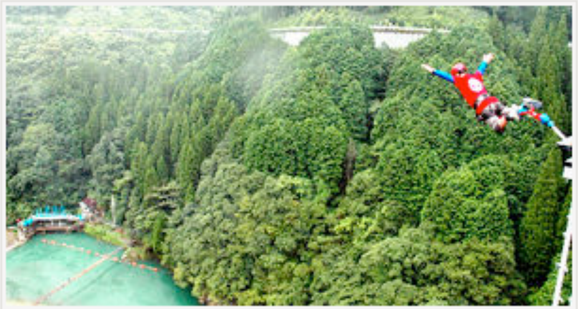
現在位置： 朝日新聞デジタル > 社会 > その他・話題 > 記事　2012年8月28日11時46分

264 ブログに利用 B! 15 +1 28 おすすめ 501

くまモンも副知事も飛んだ　バンジーで観光ＰＲ　熊本



【動画】くまモン、バンジージャンプに挑戦＝山本恭介撮影



７７メートル下方の川辺川の川面に向かって飛んだ木下丈二副村長＝五木村野々脇地区

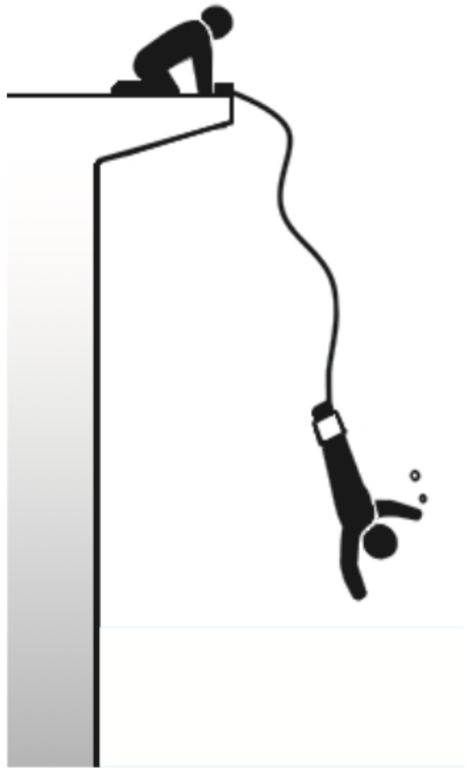
副知事が、副村長が、くまモンが飛んだ！　川辺川の上空７７メートルから川面めがけて飛ぶバンジージャンプの試験営業が２７日、熊本県五木村野々脇地区の水没予定地に架かる銀杏（いちょう）橋で始まった。川辺川ダム計画で疲弊した村が、「観光で新機軸を」と導入を企図し、群馬県みなかみ町のバンジージャンプ運営団体に委託した。

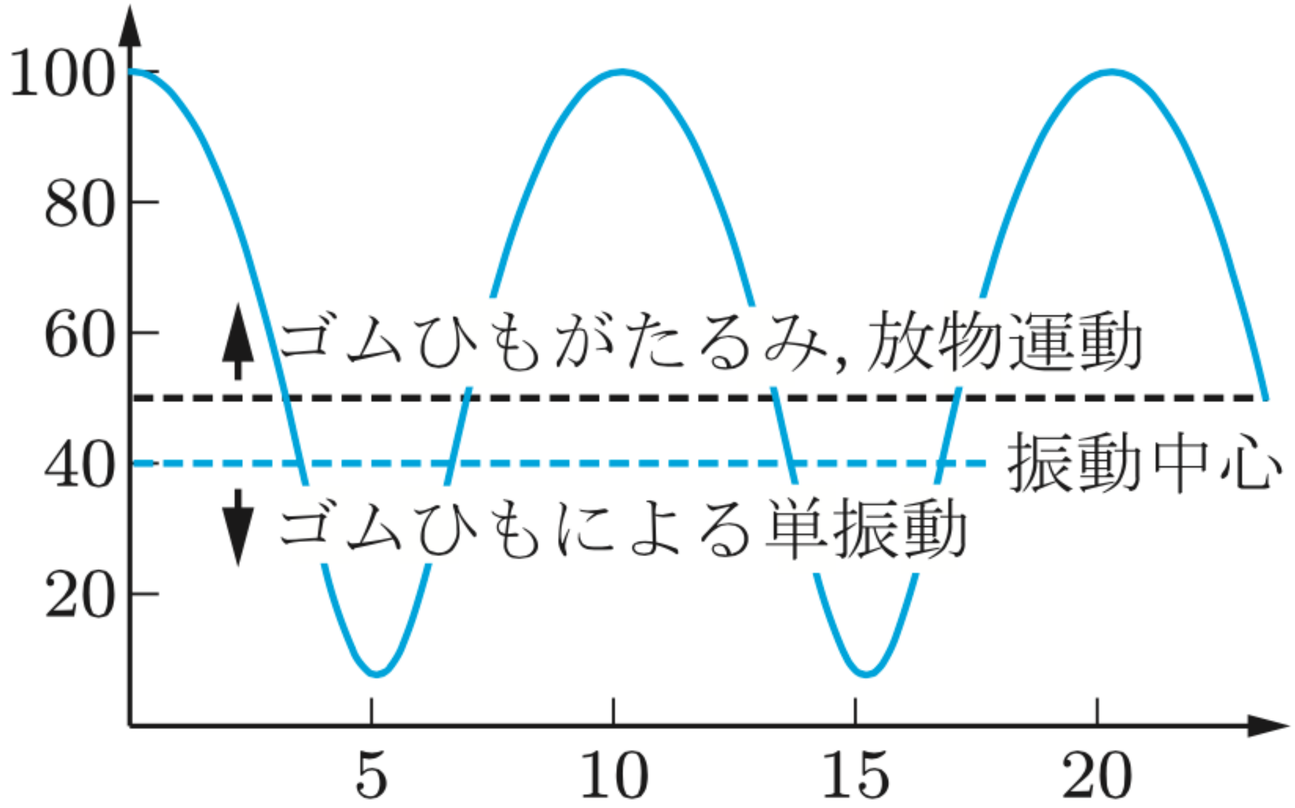
この日はオープニングを祝い、木下丈二副村長や小野泰輔副知事、さらに村のＰＲキャラクター「いつきちゃん」と県の「くまモン」らが記念ジャンプ。ゴム製の命綱を足に固定し、次々に空中に飛び出した。

９月２日までで、客層や採算性などを分析し、来年度の本格営業に向けた可能性を

http://www.youtube.com/watch?v=g2HmVw9y1d8

バンジージャンプ





放物線

三角関数

ガリレイ： 振り子の周期は, ひもの長さで決まる





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

周期 [s]

長さ [m]

重力加速度
9.8 [m/s^2]



$$\ell = \frac{gT^2}{4\pi^2}$$

$$T = 1[\mathrm{s}] \quad \ell = 0.248[\mathrm{m}]$$
$$T = 2[\mathrm{s}] \quad \ell = 0.994[\mathrm{m}]$$
$$T = 10[\mathrm{s}] \quad \ell = 24.8[\mathrm{m}]$$



万有引力(すべての物体は引き合う)

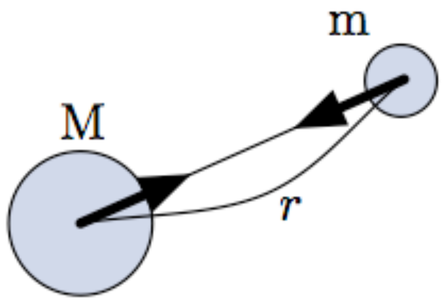
質量があるすべての物体は，互いに引き合う，と考えることにすれば，重力で動く物体の運動が説明できる．生じる引力を**万有引力**とよぶ．

法則　**万有引力の法則**

すべての物体は引力で引きあう．質量 M と m の物体が距離 r だけ離れているとき，万有引力の大きさ F は

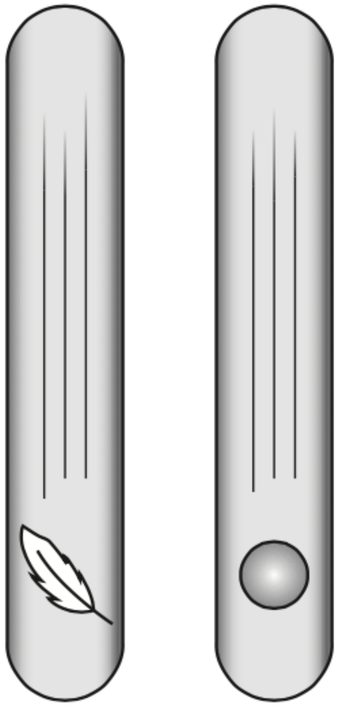
$$F = G\frac{Mm}{r^2} \tag{2.39}$$

である．G は定数で $G = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2/kg^2}$ である．



Topic　すべてのものは同じ時間で落下する

式 (2.40) は，どんな物体でも質量 m によらず同じ加速度で落下することを示している．大きな重い鉄球も小さな軽い鉄球も同じ時間で落下することを，ガリレイがピサの斜塔で確かめたというのは，伝記作家の創作らしい．だが，空気抵抗がなければ羽も鉄球も同じ時間で落下するのは事実だ．真空中でこれを示したのは，気体の法則を発見したボイル (Boyle, R.) だった．





【実験ですよ】

すべての物体は同じ重力加速度で落下する

教科書 p59

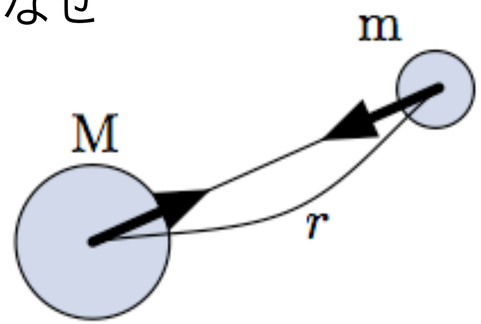


Brian Cox visits the world's biggest vacuum chamber
- Human Universe: Episode 4 Preview - BBC Two

https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs (4’40”)

なぜ月は地球に落下してこないのか

万有引力を考えると，すべての物体は近づいてゆくように思える．地球と月も万有引力で引っ張り合っているのにも関わらず，なぜ月が地球に落下してこないのだろうか．





運動6

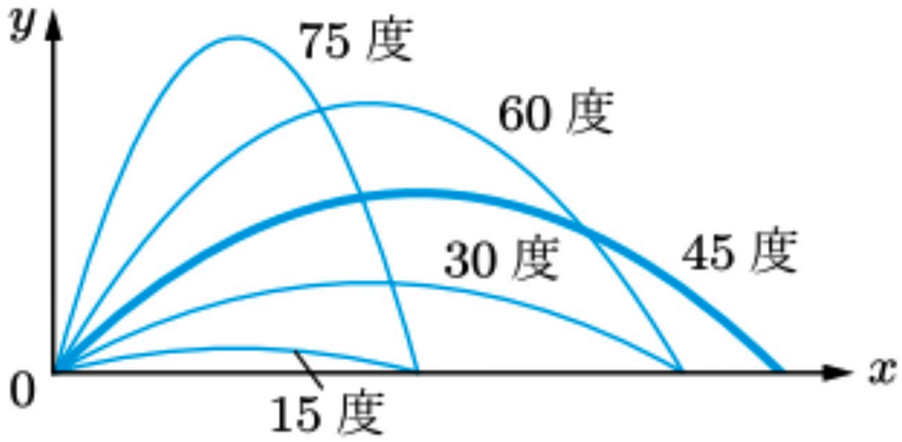
放物運動(斜め方向への投射)

教科書 p62

斜方投射

空気抵抗がないとき

45度の方向へ投げると,
一番遠くまで届く.

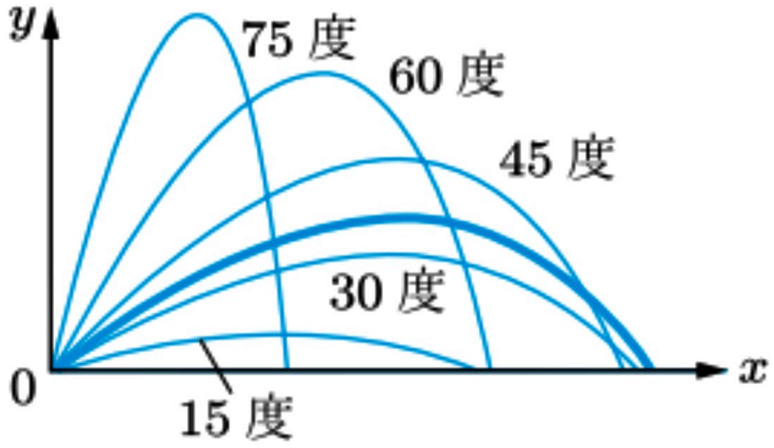


運動7

放物運動(空気抵抗がある場合)

空気抵抗があるとき

高さも低く，到達位置も短
くなる.



放物運動(空気抵抗がある場合)

Topic　終端速度

空気抵抗があるときの雨滴の運動も，式 (2.49) を解くことによって得られる．この式から，雨滴の速度は最終的には一定値に近づき，しだいに $|v_y| = mg/k$ になることがわかる．この速度を**終端速度**という．逆に，雨滴の質量 m がわかれば，空気抵抗の係数 k がこの式からわかることになる．

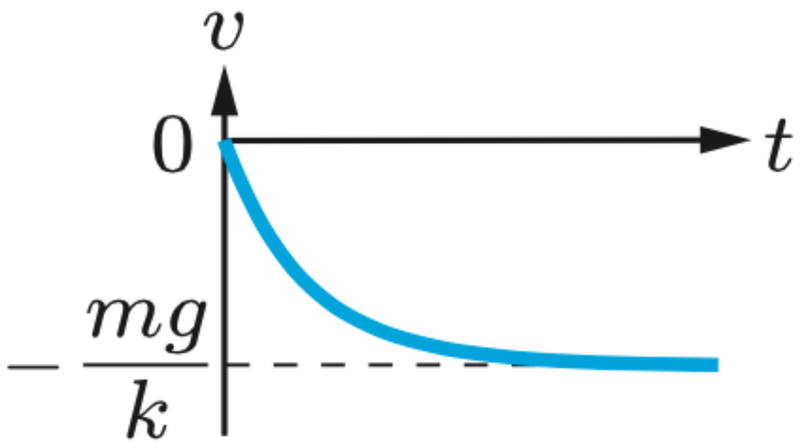


図 7: 雨滴の速度は抵抗力によって終端速度に落ち着く．

仕事(work) = 力 x 動いた距離

定義　**仕事・仕事率**

- 力 F [N] を加えて，その方向に，物体が x [m] 移動したとき，**仕事**を

$$W = Fx \tag{2.50}$$

仕事 [J] ＝ 移動方向の力 [N] × 移動距離 [m]

と定義する．仕事の単位は，[J]（ジュール）である．

- 単位時間あたり（1 秒あたり）の仕事を**仕事率**という．単位は [W]（ワット）である．

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \qquad \text{仕事率 [W]} = \frac{\text{仕事 [J]}}{\text{時間 [s]}} \tag{2.51}$$

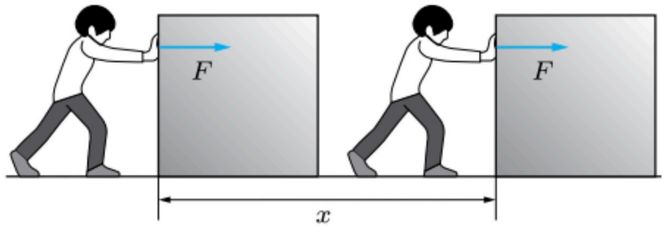
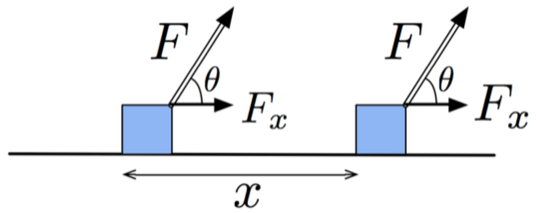


図 2.87　力の向きに移動する場合の仕事は $W = Fx$

力の向きと異なる方向へ移動するときの仕事は $W = F_x x$



エネルギー（モノを動かす能力）

エネルギー ＝ 仕事する能力

公式　**重力による位置エネルギー**

質量 m [kg] の物体が，高さ h [m] にあるとき，

$$E_P = mgh \tag{2.53}$$

の量を**重力による位置エネルギー**という．g は重力加速度である．エネルギーの単位は，[J]（ジュール）である．

定義　**運動エネルギー**

質量 m [kg] の物体が，速度 v [m/s] で動いているとき，

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 \tag{2.54}$$

の量を**運動エネルギー**という．

力学的エネルギー ＝ 運動エネルギー＋位置エネルギー

力学的エネルギーは保存する

法則　**力学的エネルギー保存則**

重力だけがはたらくとき，位置エネルギーと運動エネルギーの和は一定値で保存する．すなわち，

$$E_P + E_K = (\text{一定})$$

$$(\text{位置エネルギー}) + (\text{運動エネルギー}) = (\text{一定}) \tag{2.55}$$

となる．これを**力学的エネルギー保存則**という．

$$mgh_0 + 0 = mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = 0 + \frac{1}{2}mv_3^2$$

位置エネルギー＋運動エネルギー＝一定

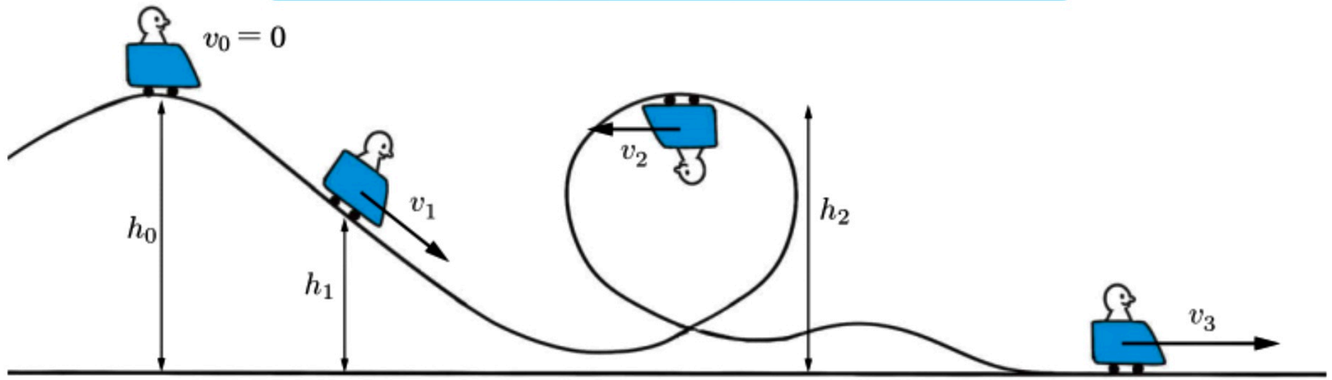


図 2.90　ジェットコースターの速さは，最初の高さだけで決まる

日本のジェットコースター　怖そうなもの一覧

アトラクション名	最高速度	全長	所要時間	最大斜度	最高部	加重力
スチールドラゴン2000 (ナガシマスパーランド)	153 km/h	2479 m	210 秒	68 度	97 m	3.50 G
ドドンパ (富士急ハイランド)	172 km/h	1189 m	60 秒	90 度	52 m	4.25 G
FUJIYAMA (富士急ハイランド)	130 km/h	2045 m	216 秒	65 度	79 m	3.50 G
恐竜コースターGAO (グリーンランド遊園地)	98 km/h	1735 m	210 秒	?	40 m	?
ハイブリッドコースター白鯨 (ナガシマスパーランド)	107 km/h	1500 m	160 秒	80 度	55 m	4.0 G
ええじゃないか (富士急ハイランド)	126 km/h	1153 m	120 秒	回転	76 m	3.67 G
ザ・フライング・ダイナソー(USJ)	非公開	1124 m	180 秒	回転	非公開	非公開
ハリウッド・ドリーム・ザ・ライド (USJ)	89 km/h	1267 m	180 秒	59 度	44 m	3.57 G
ヴィーナスGP (スペースワールド　閉園)	90 km/h	1530 m	180 秒	60 度	40 m	5.26 G

ジェットコースターの速さは何で決まるだろうか.

ジェットコースターが満員のときと，ガラガラのとき，どちらが怖いだろうか.

ジェットコースター，前に乗るのと後ろに乗るのでは，どちらが怖いだろうか.

富士急ハイランド　ええじゃないか



「前後左右、東西南北、驚天動地の大回転」



最高部高度	76.00 m
コース全長	1,153.01 m
最高速度	126.0 km/h
回転	14回（レールのループ2回+ レールのひねり5回+ 座席回転7回）
最大傾斜角	89°

https://www.youtube.com/watch?v=1Ppk7Cgo1oM

コロナ時代の正しいジェットコースターの乗り方



Fuji-Q Highland Official富士急ハイランド公式
チャンネル登録者数 3.05万人

富士急ハイランドが誇る"キングオブコースターFUJIYAMA"

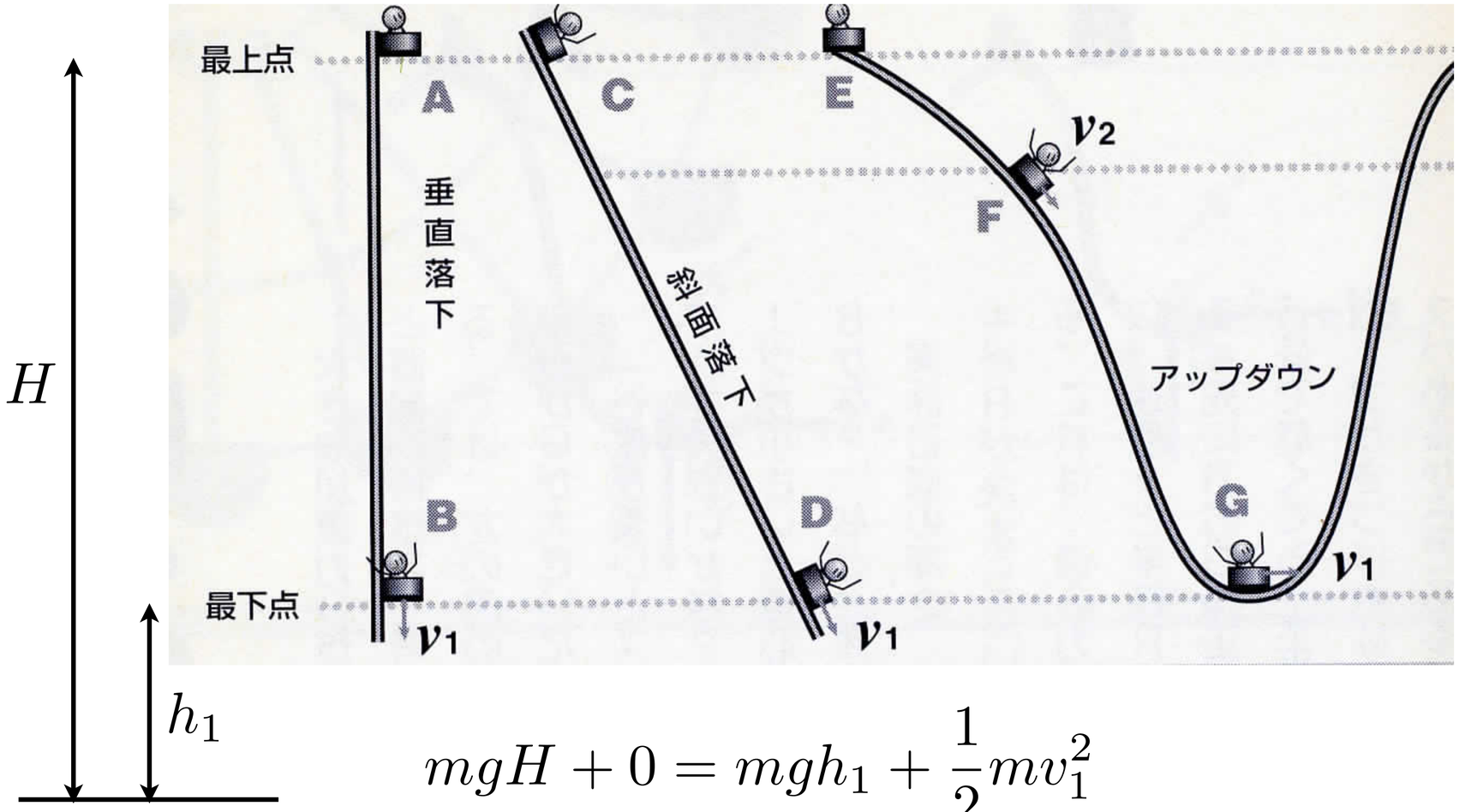
遊園地の感染防止ガイドラインでは大声での発声を控えていただくようお願いしておりますが「厳しい」「不可能だ」といったお声を頂戴しましたので、弊園では両社長からお手本動画をお届けいたします。

短編にて、「ずっと真顔ではなかったでしょう」とお言葉を頂戴いたしましたので、3分30秒のFUJIYAMAをご覧ください。

みなさんの挑戦お待ちしております…

https://www.youtube.com/watch?v=PMm5QVZ6QeY

ジェットコースターの速さは何で決まる？



$$mgH + 0 = mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2$$

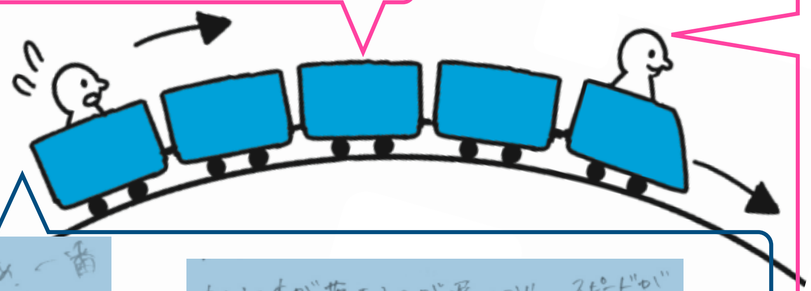
→ 摩擦や空気抵抗がなければ，落差で決まる．
垂直落下，斜面落下　どちらも同じ．

前回のミニッツペーパーから

〔3-3〕ジェットコースター，あなたは最前列に乗る派？後ろに乗る派？　その理由は？

ジェットコースターがあまり得意ではないので、真ん中あたりに乗ります。
理由は最前も後ろも高さを感じやすいためです。

こわくてのれません…



後ろ
理由：先頭車両に引っ張られて急降下するため、一番スピード感じることができるから。

後ろに乗る派
↳高所恐怖症で高いところの景色を見るのが怖いから。

速いのが苦手なので乗りたくないですが、乗らされるなら後ろに乗りたいです。

前の人がたどったところを見て心の準備ができるから。

ジェットコースターは後ろの席の方が速く感じるので、後ろに乗ります。

後ろ　＝　いつ落ちるかわからなくてドキドキするため

後ろの席だと、進行方向と反対向きにすわる席があることがあるので、前よりそっちのほうが日常ではあまり味わえない楽しさがあるから。

後ろにのるほうがスリルを楽しめるからです

後ろにのる　走り始める時後ろの方が引っ張られてスリルがあるから。

うしろの方が落ちるのが遅いから、スピードが出て楽しいから。

後ろ
後ろのほうが落下の動きが大きくて怖く感じるから。

後ろに乗る派。
次はどんなコースが来るか見えるから。

最後列がいいです。
↳ひっぱられていて前より速い気がするから。

一番最初に体験したいから，最前に乗ります。

前に乗ると視界が広く、より怖さを感じると思うから。

できれば乗りたくないですが最前列に乗ります。後ろは浮遊感が強く怖いからです。

引っぱられるのが嫌なので前に乗る派です

最前列
理由：視界をさえぎるものがないから。

最前列に乗る。　理由：いつ落ちるかわからないから。後ろにのったら引っぱられる怖さもありそうだから

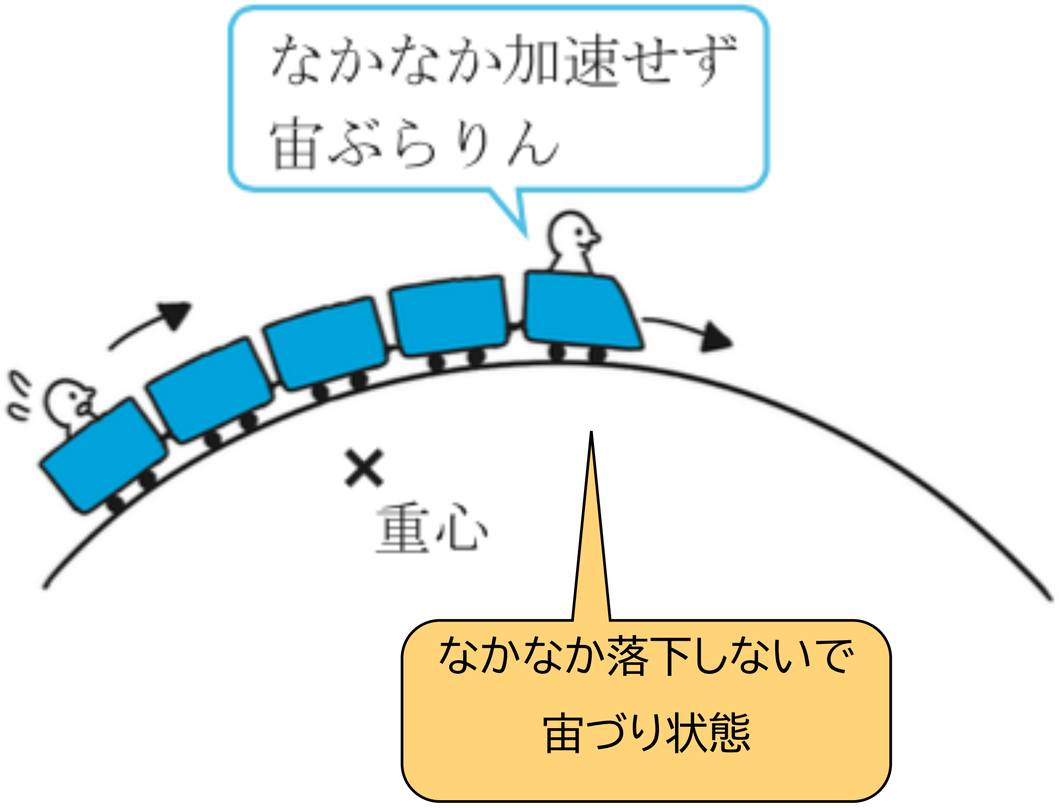
ジェットコースター　最前列
→酔いやすく、アトラクション全般苦手ですが、乗れる体質であれば、上昇・下降の景色を一番に楽しみたいから。前に人がいるのは嫌だと思うだろうから。

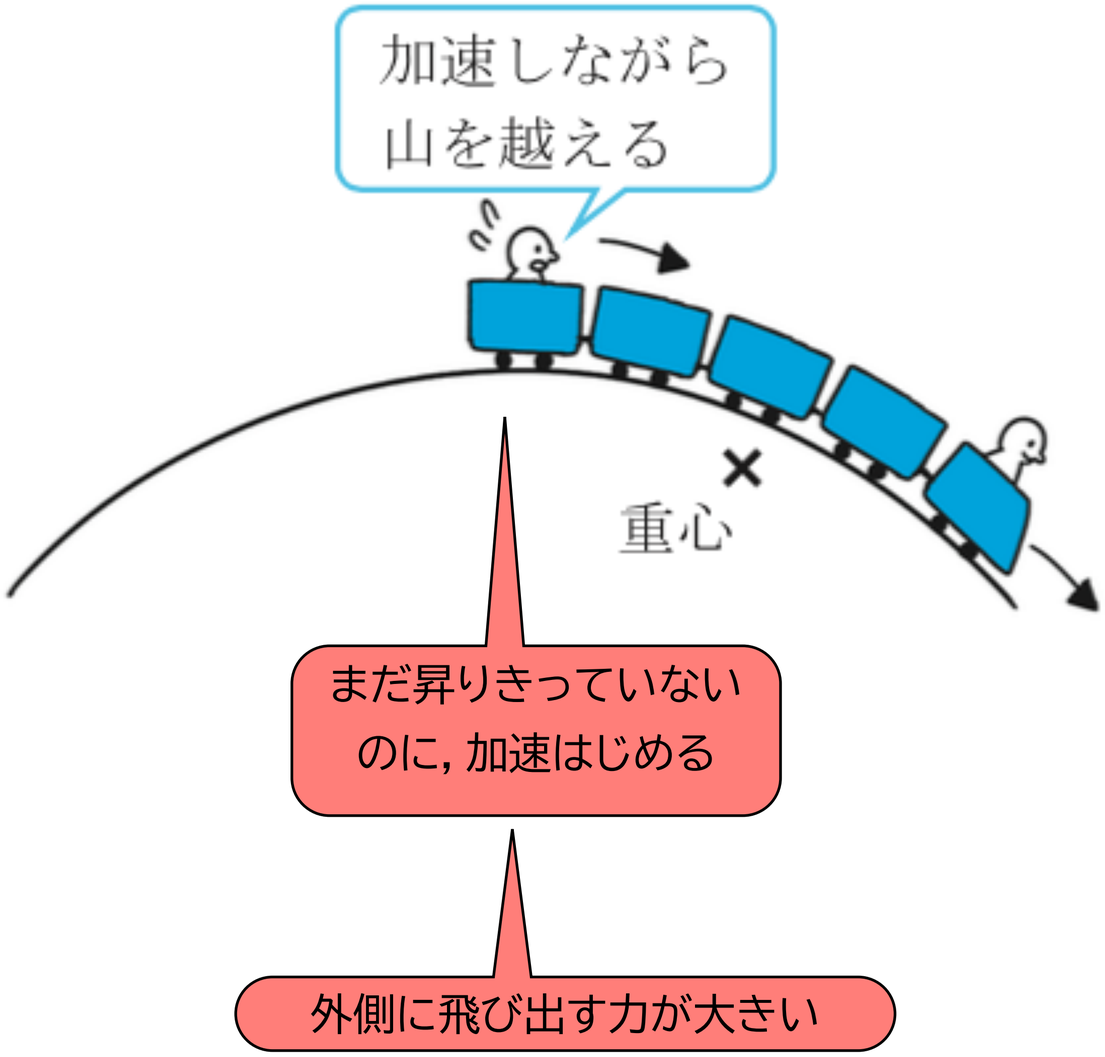
どちらかといえば最前列
最後列は引っ張られるのが大きくて浮遊感を感じやすいから
↳苦手です

理由はいちばん高いところから落ちるのがこわいためうしろにのるのはいやだから。



先頭と後ろ，どちらが怖い？

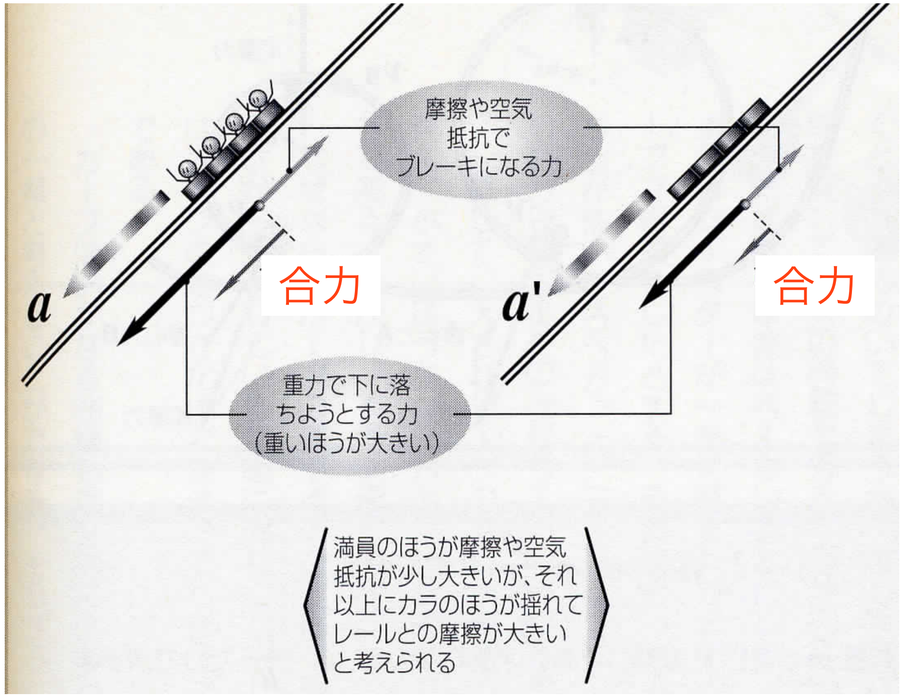




満員とガラガラ, どちらが怖い？

$mg + Mg$

(台車+人)
の重力



mg

台車の重力

速度は加速度の大きさで決まる.
加速度は力の和で決まる.

→ **摩擦や空気抵抗を考えるとすれば, 人数の多い**
ジェットコースターの方がスピードが出る.

先頭と後ろ，どちらが怖い？



林先生が驚く初耳学 2015年8月16日放送　3分20秒

【フジテレビ番組概要書】

真貝寿明　様

取材依頼表

株式会社フジテレビジョン
バラエティ制作センター
『チャンハウス』
担当：宮井海名（Miyai Mina）
返信用 TEL:080-1272-4292
返信用 MAIL:mina.miyai@withl.fujitv.cojp
東京都港区台場２−４−８　フジテレビオフィスタワー13 階

―取材依頼のご相談―

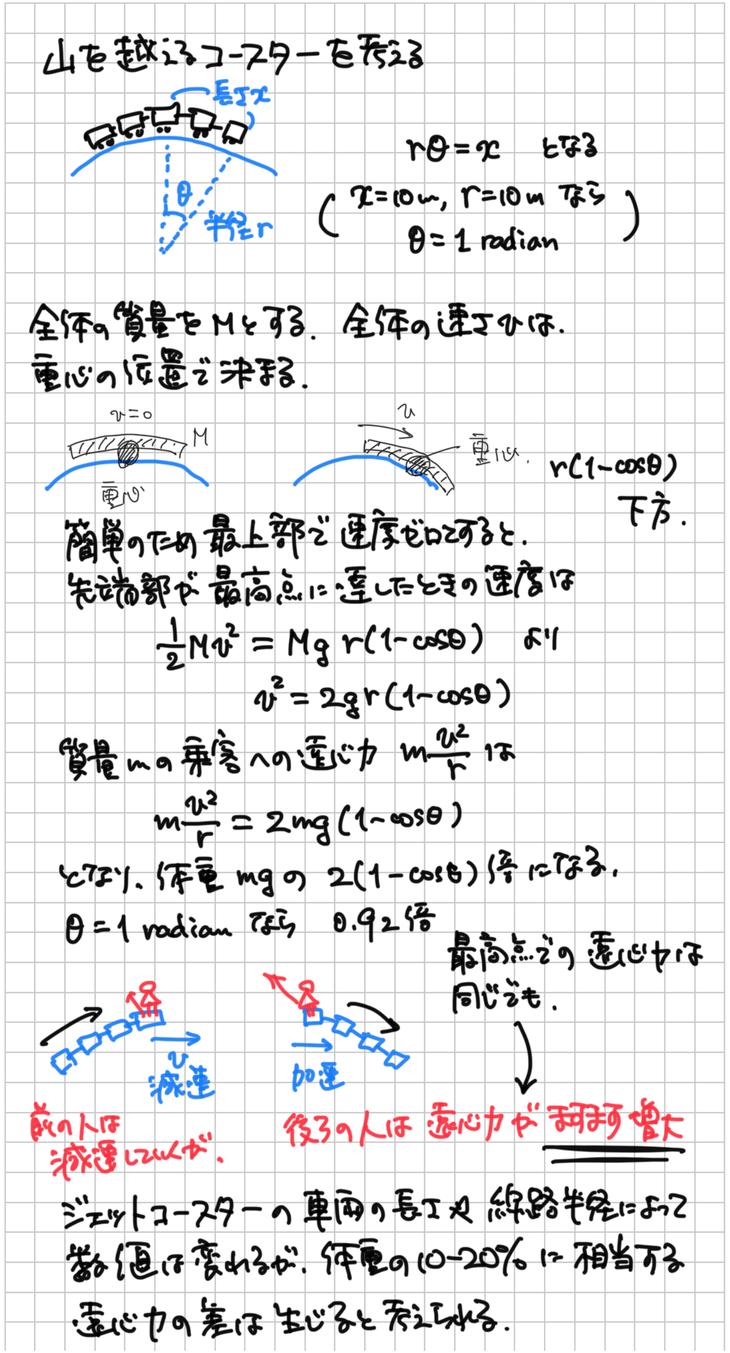
拝啓　ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。
さて、このたび弊社運営の『チャンハウス』という番組内で雑学特集を企画しており
雑学に関しまして聞き取り取材をお願いしたく、取材依頼書をお送りいたします。
下記内容について、ご検討賜りたくよろしくお願い申し上げます。

記

■掲載媒体：フジテレビ『チャンハウス』　10 月 12 日（土）　11:00〜11:50　放送予定
■企画概要：雑学を紹介する番組となります
■依頼内容：『ジェットコースターは前より後ろの方が怖い』を
　　ご紹介したいのですが
　　この雑学の正誤や、根拠を持ってご解説いただくことは可能でしょうか。
■場所：撮影等はございません。
　　電話やメールでの聞き取りをもとに紹介させていただきたく存じます。
■日程：なるべく９月２０日（金）までにご返答いただきたく存じます。
■取材スタッフ：ディレクター１名（メールまたは電話でのやり取りを希望いたします）
■謝礼・条件：取材謝礼のご用意はございません。
　　番組内クレジット（協力）に記載をさせていただければと思います。
■ご不明点などございましたらお申し付けください

以上

ジェットコースター



運動量 = 質量 x 速度

定義 **運動量・力積**

- 質量 m [kg] の物体が，速度 $\boldsymbol{v}$ [m/s] で動いているとき，**運動量**を次のように定義する．

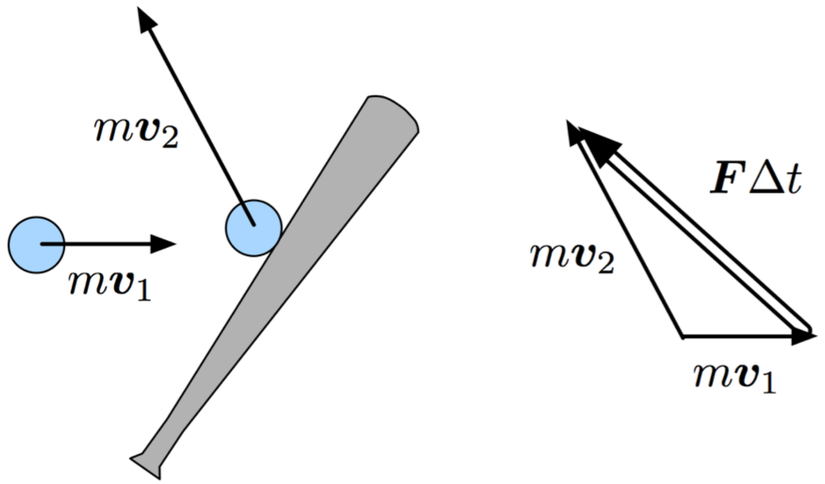
$$\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v} \tag{2.57}$$

運動量 [kg m/s] = 質量 [kg] × 速度 [m/s]

- 物体に一定の力 $\boldsymbol{F}$ [N] を時間 Δt [s] だけ作用させたとき，**力積**を次のように定義する．

$$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{F}\Delta t \tag{2.58}$$

力積 [Ns] = 力 [N] × 時間 [s]



運動量保存則(作用反作用の帰結)

conservation law of momentum

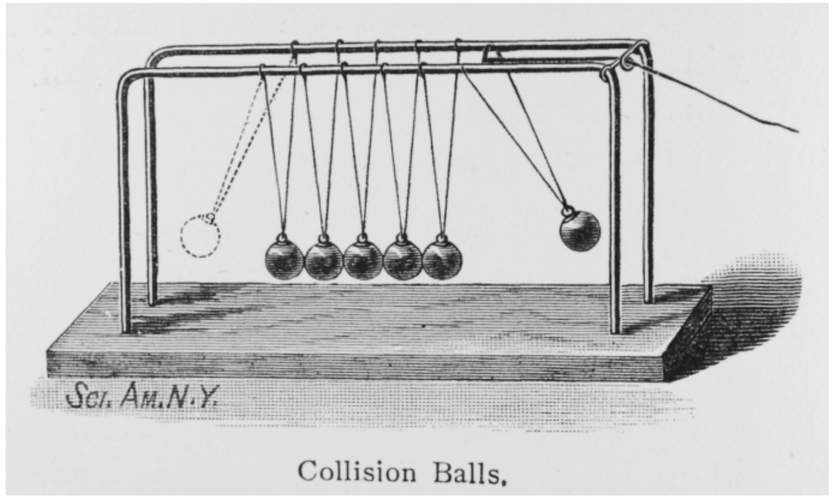


Why science teachers should not be given playground duty.

法則　運動量保存則

二つの物体が互いに力を及ぼしあうとき（すなわち，衝突，合体，分裂，貫通するようなとき），その前後で，2 物体の運動量の和は保存する．

$$m_{\mathrm{A}}\boldsymbol{v}_{\mathrm{A}} + m_{\mathrm{B}}\boldsymbol{v}_{\mathrm{B}} = m_{\mathrm{A}}\boldsymbol{v}'_{\mathrm{A}} + m_{\mathrm{B}}\boldsymbol{v}'_{\mathrm{B}} \qquad (2.61)$$



Collision Balls.

Newton's Cradle

Topic　ニュートンのゆりかご

「ニュートンのゆりかご」とよばれる実験装置がある．2 個のボールをぶつけると反対側から 2 個のボールが飛び出し，3 個のボールをぶつけると反対側から 3 個のボールが飛び出す．運動量保存則である．

運動量保存則(作用反作用の帰結)

conservation law of momentum

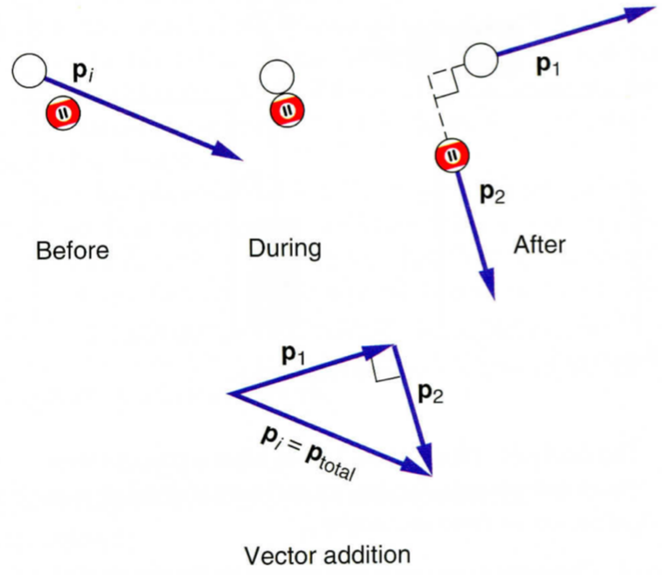


figure 7.20 The momentum vectors of the two balls after the collision add to give the total (initial) momentum of the system. The paths of the two balls are approximately at right angles after the collision.

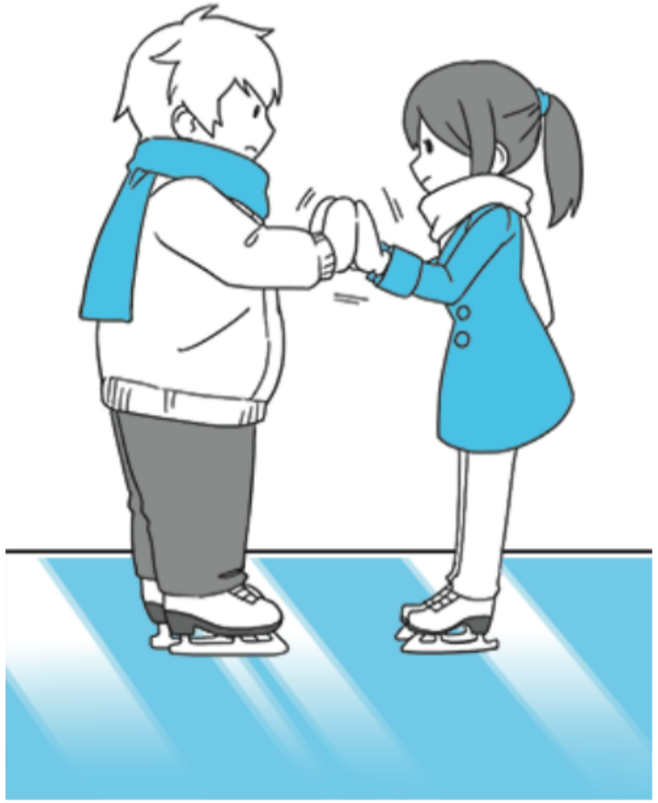


図 2.23: 〔左〕ビリアードの球の衝突前後で，全運動量は保存する．〔右〕体重の違う氷の上の 2 人が互いに力を入れて押すと？

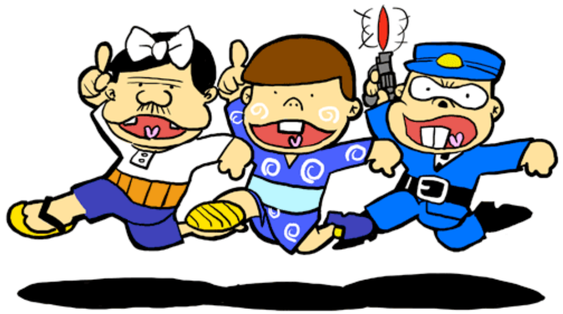
問題

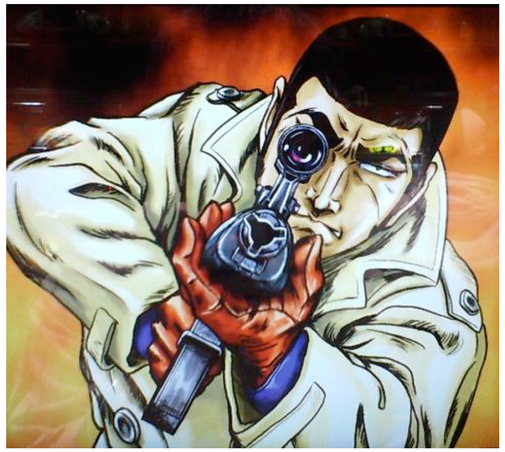
次元大介とゴルゴ 13 と天才バカボンに登場する警察官．いずれも著名なスナイパーだが，物理学的に正しい図はどれか．











反作用を考えた，正しい銃の持ち方











しぜんの ふしぎ！　かがくの わ！

うごく

真貝寿明／指導　岡本好明／写真

たくさんの人が研究し、発見してきた「動きのしくみ」。身のまわりのものを使って、物理の視点から分かりやすく説明します。

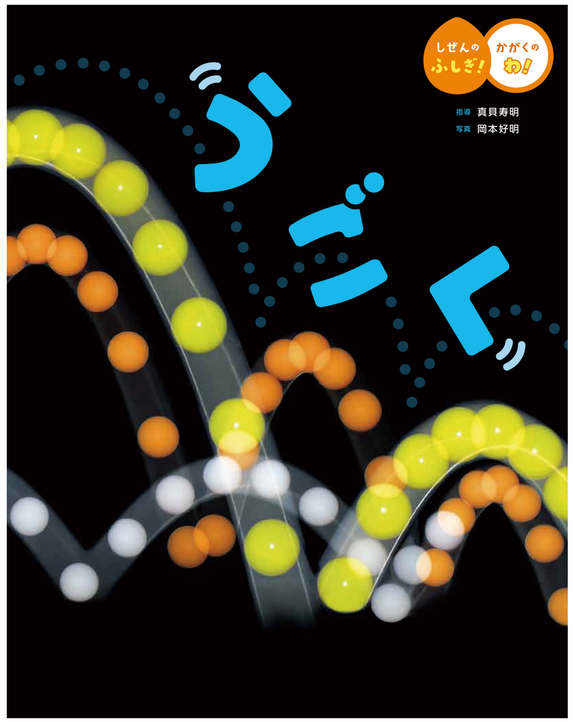
定価　：1,650円（本体1,500円）
発行年月：2026年7月
発行　：フレーベル館
サイズ　：縦270mm × 横210mm × 背幅9mm
ページ数：28ページ
ISBN　：9784577054611

対象年齢　4 歳　5 歳　6 歳　小 1　小 2

ネットで購入

▶ 本書の感想をお聞かせください

https://book.froebel-kan.co.jp/book/detail/9784577054611



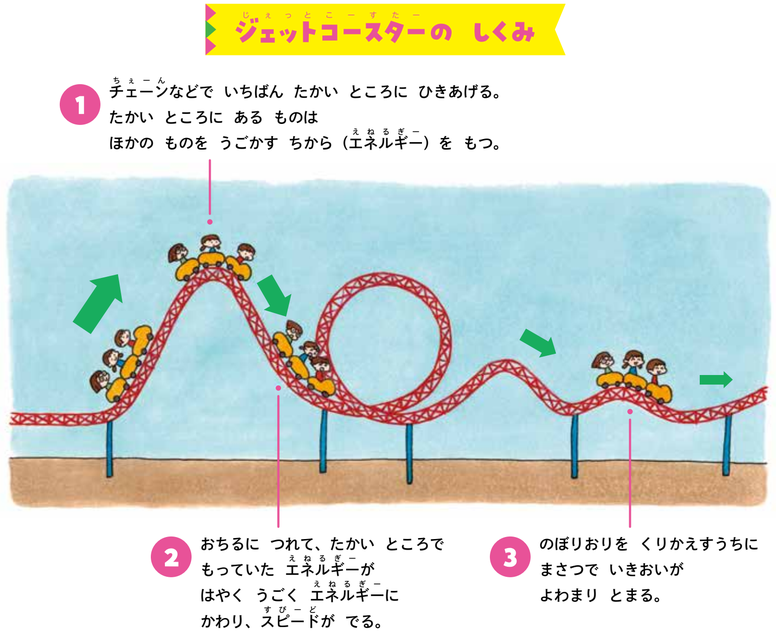
ぐるん！と いっかいてん



ジェットコースターで さかさに なっても
えんしんりょくが はたらくので だいじょうぶ。

16

ジェットコースターには ほかにも ひみつが あります。
「たかさ」を 「はやさ」に かえているのです。



だから、ほとんどの ジェットコースターは
さいしょの やまが いちばん たかくなっています。
うごきの しくみを じょうずに つかっている
のりものなんですね。

17

https://book.froebel-kan.co.jp/book/detail/9784577054611

ゆうめいな　かがくしゃ

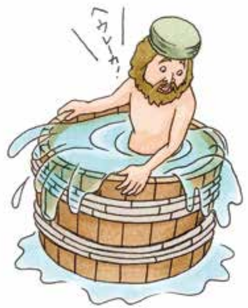
すごい　はっけんを　した　ひとたちを
しょうかいします。

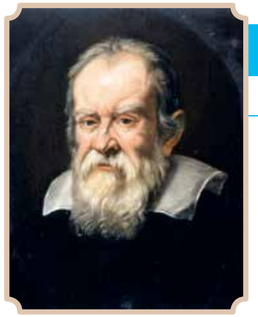


アルキメデス

（きげんぜん２８７ねんごろ～
きげんぜん２１２ねん）
ギリシャ

「アルキメデスの　げんり」と　いう
ものが　うく　ちからの
しくみを　はっけんした。





ガリレオ・ガリレイ

（１５６４～１６４２ねん）イタリア

じぶんで　つくった
ぼうえんきょうで　つきや　わくせいを
かんさつし、ちきゅうが
たいようの　まわりを
まわっている　ことを　はっけんした。





ニュートン

（１６４２～１７２７ねん）イギリス

りんごが　きから　おちるのを　みて
ばんゆういんりょくの　ほうそくを
はっけんした。



もっと！　うごくクイズ

みのまわりに　かくれている　しくみの
クイズに　ちょうせんしてみましょう。



1　バスが　ひだりに　まがる　とき、
なかの　ひとは　どちらむきに
ちからを　うける？

2　ジェットコースターは
どこに　のるのが
いちばん　こわい？

いちばん　まえ、まんなか、
いちばん　うしろの　どこが　いちばん
こわく　かんじるかな？





3　カーリングで　こおりを
ごしごし　こするのは　なぜ？

カーリングは　こおりの　うえに
ストーン（いし）を　すべらせて　きそう
スポーツ。すべらせる　ときに　こおりを
ブラシで　こするのは　どうしてかな？

こたえは　さいごの　ページを　みてね。

おとなのための

うごく講座

P.02〜09　物体の運動と慣性の法則

物体がどう動いていくのかを説明するのが物理学です。動き方には、同じ速さで動いていく等速運動もあれば、速さが変化する加速運動や減速運動もあります。何も力が加わっていなければ、物体は止まったままか、等速直線運動をします。

これは「慣性の法則」と呼ばれ、ガリレイが発見しました。だるま落としもハンカチ引きも、力を加えていない物体は、その位置に留まろうとすることをつかった遊びです。回転運動も同じです。回転するためにはきっかけとなる力が必要となります。

P.10〜11　運動量保存則と角運動量保存則

物理法則には、一定の量が存在する、という法則もあります。ひとつめは運動量保存則で、「全体の運動量（質量と速度の積）は保たれる」というもの。おはじきが止まっているおはじきに正面衝突すると、それまで動いていたおはじきが止まります。ぶつかった瞬間に力がはたらいて、運動が伝わっていくのです。

回転運動では「全体の角運動量（半径と運動量の積）は保たれる」という角運動量保存則があります。これは、回転しているフィギュアスケーターが横に伸ばしていた手をからだにつけると高速に回転する原理です。

P.12〜13　加速・減速と摩擦力

力がはたらくと、物体は加速・減速運動をしたり、向きを変えたりします。これがニュートンの「運動の法則」です。転がしたボールはいずれ止まりますが、これは摩擦力がはたらく減速運動です。摩擦力は物体の接触面の凹凸によって生じる力です。氷の上ですべりやすいのは、重みで氷がとけて水になり、接触面が動きやすくなるためです。摩擦がはたらかない理想的な場合を想定して慣性の法則を発見したガリレイの着想は画期的でした。

P.14〜17　遠心力とエネルギー保存則

回転していると、外向きに力を受けるように感じます。この力を遠心力といいます。回転している速さが大きいほど遠心力も強くなります。

エネルギー保存則は、「高いところにある位置エネルギーと、速度の大きさで決まる運動エネルギーの和はいつでも一定になる」という法則です。ジェットコースターは、始めは高いところへ引き上げられますが、あとはエンジンなしですべり降りるだけの乗り物です。ですから谷底では速く、山ではゆっくりになります。摩擦によって減速していくので、山の高さは次第に低くなっていきます。ジェットコースターで山を通過するとき、上に飛び出してしまいそうになるのは遠心力が原因です。

P.18〜23　リンゴも月も万有引力で動く

リンゴが落ちるのを見て、万有引力を思いついたニュートンの逸話は、本人の自伝にある実話のようです。彼は、すべての物体どうしが引力を及ぼすことに考えを広げ、月が地球を回ること、地球が太陽を公転することが、同じ法則で説明できることを発見しました。互いに引っ張り合うなら、月はどうして地球にぶつからないのか、と質問されて、ニュートンは悩みました。そして、「月は地球に落ち続けているが、速度があるために、ぶつからずに一周できてしまう」と説明できることに気づきます。

おわりに

身のまわりの自然現象の裏には、物理法則があります。しかも、その法則は、指先の現象でも宇宙の現象でも共通です。親子でいつも「どうしてかな」と疑問をもって、観察や実験をしたり、共に悩んだりする時間が、子どもたちにとって貴重な経験になっていくことでしょう。　（真貝寿明）

来月のテーマ

あめ

口に入れるとおいしさが広がる飴。飴の材料に欠かせない砂糖の不思議や、どうして固まるのか、なぜ舐めると溶けるのかなどの秘密に迫ります。ジュースで作る簡単な飴のレシピもあります。飴の甘〜い世界をお楽しみに！



指導

真貝寿明　しんかい　ひさあき

大阪工業大学教授。理論宇宙物理学研究者。ブラックホールや重力波を研究して、宇宙のしくみを解き明かすことに挑戦されています。物理のおもしろさを伝えたいと、ていねいにご指導いただきました。



写真

岡本好明　おかもと　よしあき

物体の軌跡を写す特殊なストロボ撮影を、豊富な経験と知識で見事に実現してくださいました。真っ暗なスタジオでピンポン玉を落とし続け、シャッターを切り続けた成果は表紙に表れています。

写真●アフロ　PIXTA　NASA
制作・イラスト●kucci
デザイン●八木孝枝

※ 表紙、見返し、P.12-13のボールを転がす写真は同速度でシャッター撮影した写真を一枚に合成しています。

？のこたえ

のっている　くるまが
ブレーキで　とまると、
からだは　どうなる？
➡ 8〜9ページを　みてみよう！

うごいている　ものが
とまるのは　なんの
ちからが　はたらくから？
➡ 12〜13ページを　みてみよう！

ニュートンは　なにを　みて
ばんゆういんりょくを
はっけんした？
➡ 26〜27ページを　みてみよう！

このマークのところは、子どもたち自身が読んでより興味を深めるほか、おとなの方のことばかけの参考としておつかいください。

「やってみよう！」　こたえ

P.7 かいてんいすの　じっけん

▶ あしを　ゆかに　つけずに　まわす　ことは　できない

回転運動はきっかけがないと始まりません。足を床につけて蹴らないと運動が始まらないので、足を床につけずに椅子を一回転することはできません。

P.13 まさつくらべ

▶ ボールが　いちばん　とまりやすいのは　③タオルの　うえ

すべりにくい＝抵抗が大きいものほど摩擦力が大きくなるので、③→②→①の順でボールは止まりやすい。

P.27　もっと！　うごくクイズ　こたえ

❶ バスが　ひだりに　まがる　とき、なかの　ひとは　どちらむきに　ちからを　うける？

▶ なかの　ひとは　はんたいの　みぎむきに　ちからを　うける

車が左に曲がっても、慣性の法則により、乗車している人はまっすぐに進もうとします。そのため、車内では右にからだが傾くようになるのです。

❷ ジェットコースターは　どこに　のるのが　いちばん　こわい？

▶ いちばん　うしろ

恐怖の感じ方には個人差がありますが、物理学的に解説すると、ジェットコースターが山を越えるとき、最減速するのはコースターの中心が最高地点に来たときです。うしろの人は加速しながら山を越えることになるので、怖さが増します。また、後部車両のほうがよく揺れるので安定性が悪く、その分怖いと考えられます。

❸ カーリングで　こおりを　ごしごし　こするのは　なぜ？

▶ こおりが　なめらかに　なって、ストーンが　すべりやすくなるから。

氷をこすると表面がなめらかになり、摩擦が少なくなるのでストーンがよくすべります。また、ブラシでこすると熱が発生して氷の表面が溶け、水の膜ができるのでやはりストーンがすべりやすくなります。

しぜん　キンダーブック　11月号　うごく

第50集第8編　2021年11月1日発行

● この本は一般書店では販売しておりません。お申し込みは弊社オンラインショップ「つばめのおうち」へお願いします。⇒ froebel-tsubame.jp
● 万一不良本がございましたら、おとりかえいたします。

発行人　吉川隆樹
編集人　長本 守
企画編集　建石智子・藤咲明子・福本真紀子
発行所　株式会社フレーベル館
〒113-8611 東京都文京区本駒込6-14-9
電話　編集／03（5395）6603
営業／03（5395）6608
印刷所　凸版印刷株式会社

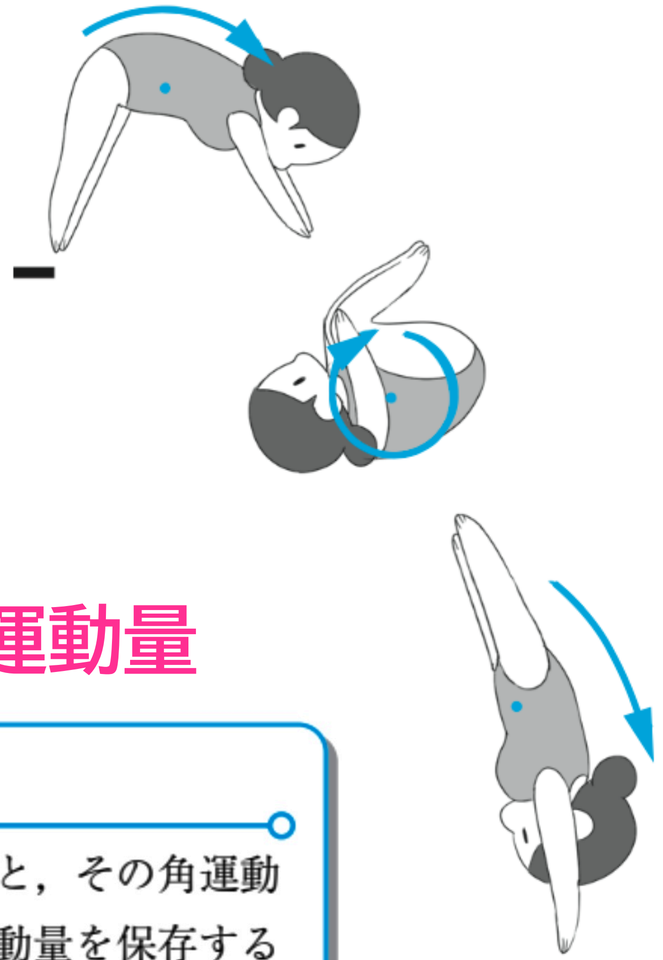
本の紙で手などを切ることがあります。また投げたり振り回したりすると、思わぬケガや事故につながることがあるので、ていねいに扱いましょう。

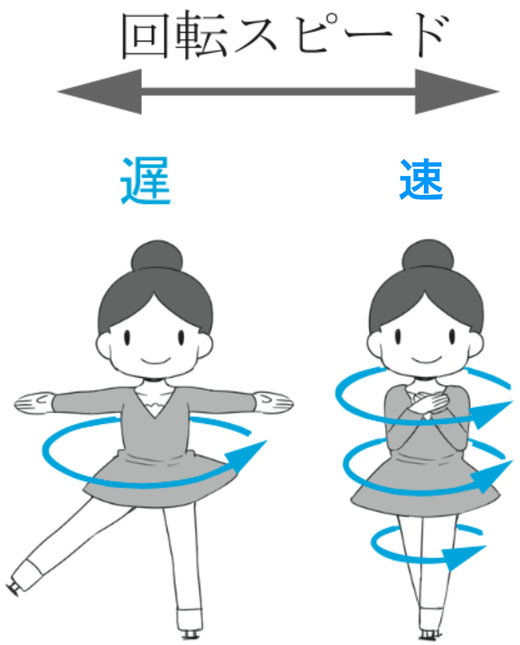
VEGETABLE OIL INK　「再生植物油インキ」を使用しています。

©フレーベル館　2021, Printed in Japan　禁無断転載・複写

角運動量は保存する

conservation law of angular-momentum





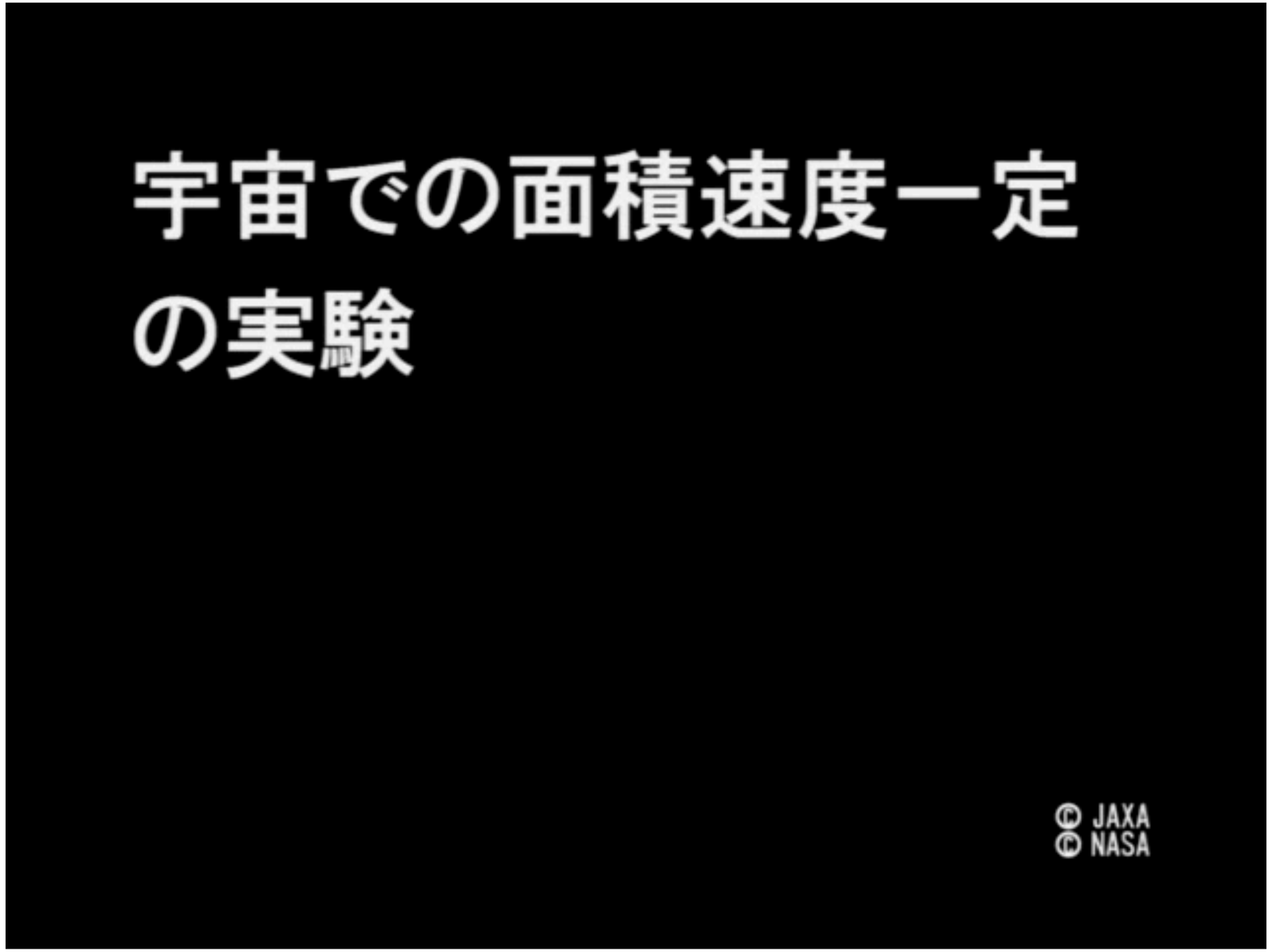
角運動量 ＝ 回転半径 x 運動量

法則　角運動量保存則

回転させるために，初めに角運動量を与えると，その角運動量は保存する（回転運動している物体は，角運動量を保存するように運動する）．

教科書 p84

角運動量は保存する



宇宙での面積速度一定の実験　（数研出版　物理図録 p.39）

【本日のエンディング】



10”



http://www.youtube.com/watch?v=hFQgs3a2suU (1’13”)

【サザエさんは，肖像権に厳しいので，即刻削除された動画です】

本日のミニッツペーパー記入項目

出席票を兼ねます.

〔4-1〕(本日の講義から)
運動を考えるとき, 運動方程式と保存則(エネルギー保存則・運動量保存則など)の2つの考え方があるが, これらの違いは？

〔4-2〕(次回のネタ)身の回りで, 遠心力を利用している道具の例を挙げよ

〔4-3〕(次回のネタ)ゆでた卵は, ゆでていない卵よりも回転する. その理由は？

〔4-4〕通信欄. (講義で取り上げて欲しい疑問・要望・連絡事項など、何かあれば)