

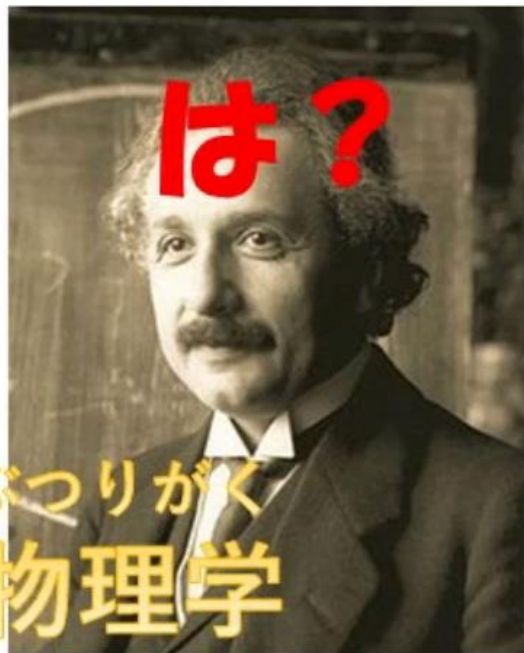
NPO法人函館プラネタリウム の会

入門 みんなで話そう相対性理論



ぶつりがく かくめい あた きょじん

物理学に革命を与えた巨人たち

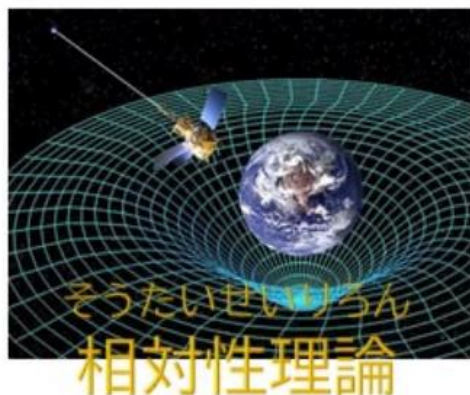


こてんぶつりがく
古典物理学

げんだいぶつりがく
現代物理学

アイザック ニュートン アルベルト アインシュタイン
1642年～1727年 1879年～1955年

ニールス ボーア
1885年～1962年



うんどう ほうそく

ニュートンの運動の法則





時速100キロで走る車から進行方向と逆に時速100キロのボールを投げたら？

まともなニュートンが言ったこと



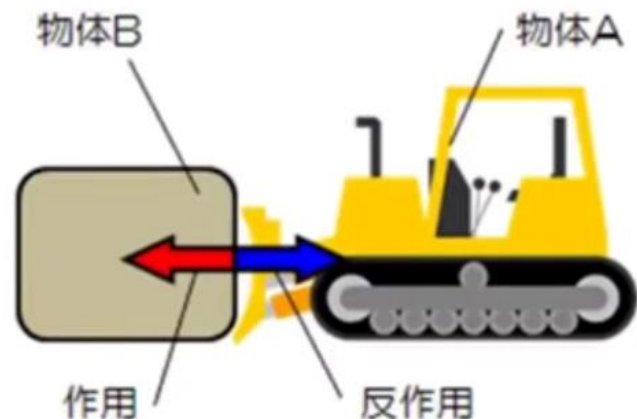
その1

すべての物体は、力を加えない限り、止まっているものは止まったままで、動いているものは同じ速度で動き続ける

その2

物体に力を加えると、加速度が生じ、その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

まともなニュートンが言ったこと



その3

ぶったい ぶったい ちから く ぶったい ぶったい
物体Aから物体Bに力を加えると、物体Aは物体
Bから**おお**大きさが**おなじ**で**ぎやく**逆向きの力を**ちから**はたらきかえ働き返す

かんせい ほうそく

慣性の法則



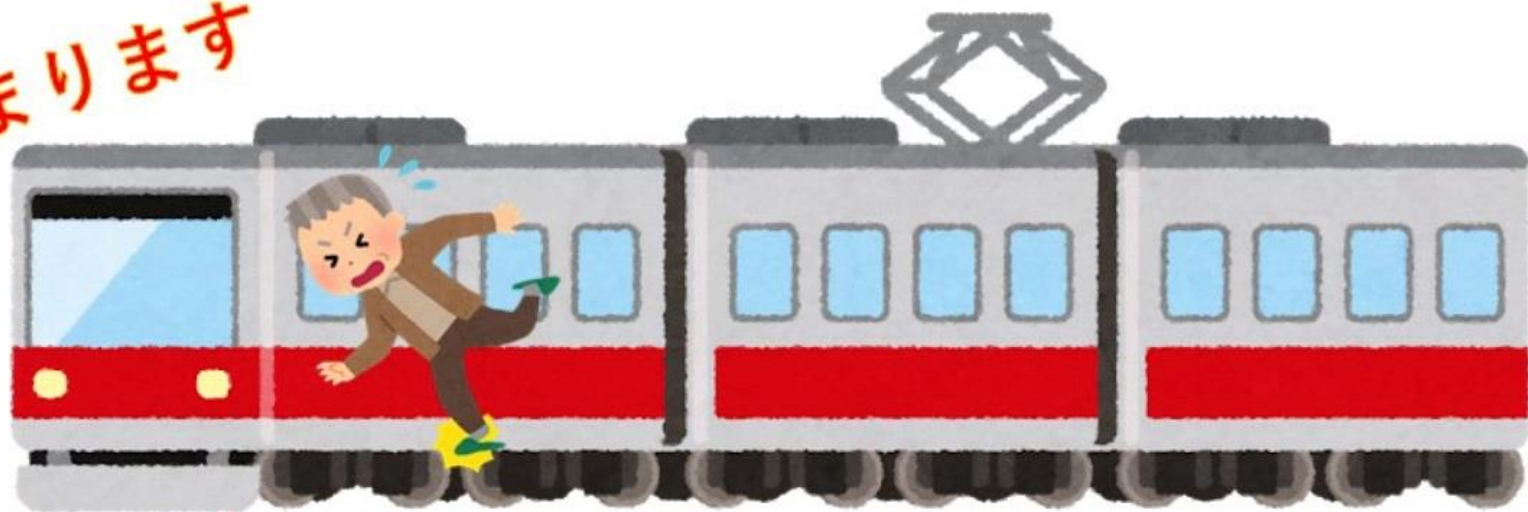
まともなニュートンが言ったこと



その1

すべての物体は、^{ぶつたい}力を加えない限り、^{ちから}止ま^くまっているものは止まったままで、^{かぎ}動いているものは^と同じ^{おな}速度^{そくど}で^{うご}動き^{つづ}続ける

止まります



キキ

どうたい うご つづ
胴体は動き続ける



ゆか あし と
床についでいる足は止まる



速さ、速度とは

物体の速さとは、
その物体が進んだきよりを、
かかった時間^わで割ったものだ。



車のスピードメーターを
見れば、その車が1時間に
何キロメートルの速さで
進んでいるかわかるよ。

14



4メートルのきよりを進むのに2秒かかるとしよう。
2秒で4メートルってことは、1秒で2メートル。
それを、次のように書いて表す。

$$v = 2 \text{ m/秒}$$

vは速さ、つまりスピードのこと。速さを知るには、
進んだきよりをかかった時間^わで割ればいい。

$$\text{速さ} = \text{きよ} \div \text{時間}$$

はや そくど 速さ、速度とは

物体の速さとは、
その物体が進んだきよりを、
かかった時間で割ったものだ。

はや ほうこう
速さに方向をつけたもの（どっちに
む まいびょうなん すす
向かって毎秒何メートルで進んでい
るのか）が速度

車のスピードメーターを
見れば、その車が1時間に
何キロメートルの速さで
進んでいるかわかるよ。

$$v = 2 \text{ m/秒}$$

vは速さ、つまりスピードのこと。速さを知るには、
進んだきよりをかかった時間で割ればいい。

$$\text{速さ} = \text{きより} \div \text{時間}$$



き じゅん けい
基 準 系

きじゅんけい

時速30キロメートル

基準系とは

アルベルト
博士



この電車の中にある物体の速さを知るのに、ふたつの基準系がある。



にとっては、自分が乗っている車内が基準系から見ると、車内のすべてが静止して速0キロメートル。



アルベルト博士にとっては、自分が立っている駅のホームが基準系だ。博士から見ると、通過する電車内すべてが、一定の速さ(時速30キロメートル)で移動している。



運動が相対的というの



私たちは ちがう そくと
 時速100キロで走る車から進行方向と逆に時速100キロのボールを投げたら？

立場が違つと速度も違つ

このリモコンカーの速さは？

アルベルト
 博士



30 km/h

$V_{\text{電車}}$

電車の速
 時速30
 メートル

アリスから見ると、
 リモコンカーは
 決まった速さで
 走っている。

$V_{\text{リモコンカー}}$
 5 km/時

アルベルト博士から見ると、
 リモコンカーは、電車と
 リモコンカーの速さを足した
 速さで走っている。

$V_{\text{電車}} + V_{\text{リモコン}}$
 30 km/時 + 5 km/時 = 35

電車の中にいるアリスにはリモコンカーの時速は 5km/h に見える
 ホームにいる博士にはリモコンカーの時速は 35km/h に見える

キロで走る車から進行方向と逆に時速100キロのボールを投げたら？ (はじめまして相対性理...)

時速100km 走行 車から逆方向に
時速100kmのボールを投げると□

100
キロ



スア洋の再生



時速100kmで走行する車から
逆の方向に時速100kmのボールを
投げると投げた地点に落下する

いかがでしたか？



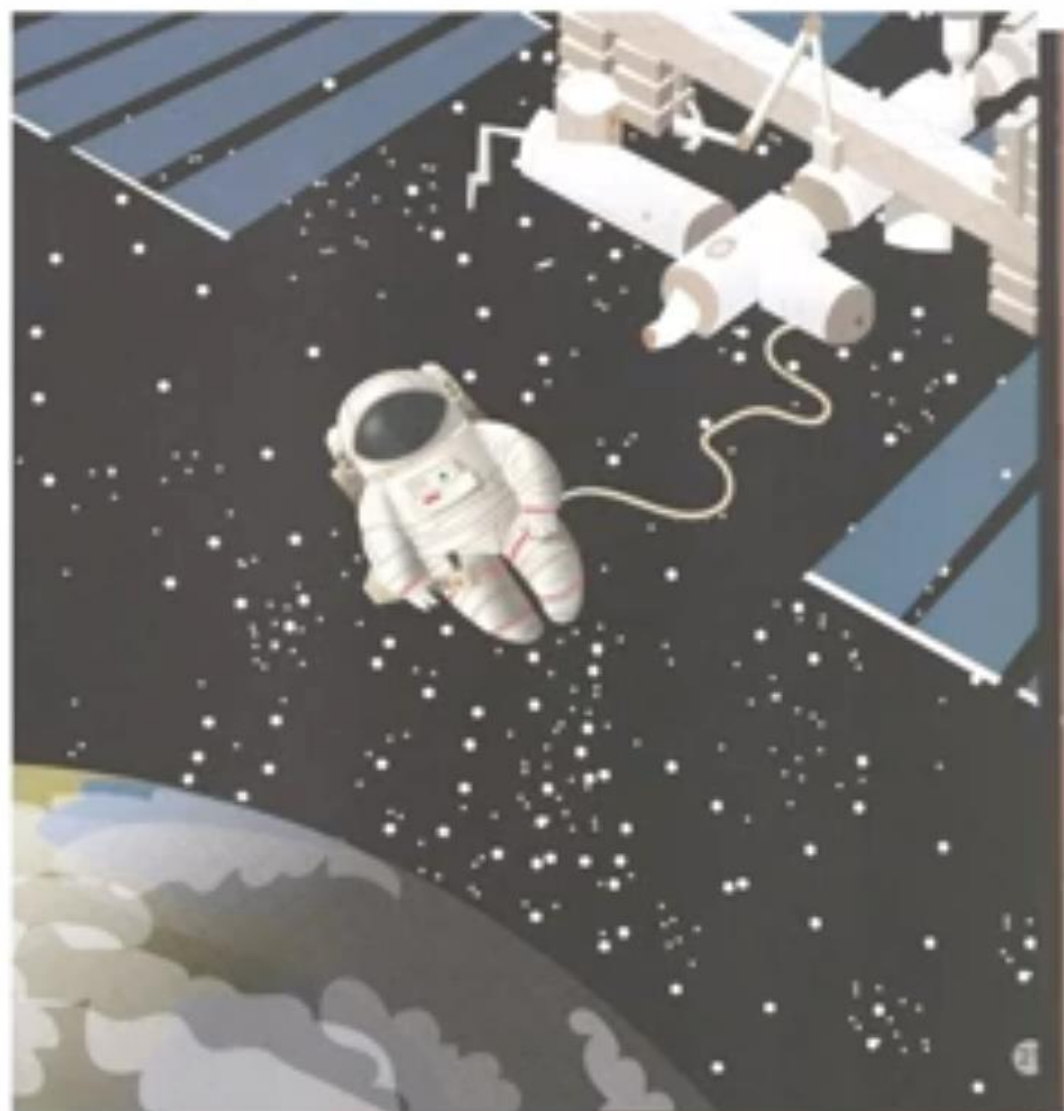
アインシュタインは、皆が常識で当たり前前と思っていた事を徹底的に一から考え抜いて、新たな世界を作り出した人です。

皆さんも「教科書に書いてあるから正しい」などと思わずに、色々なことに好奇心と疑問を持ってください。

自分が止まっているのか、どれぐらいの
速^{はや}さ^{うご}で動いているのかってわかるの？



^{じぶん}自分が^と止まっているのか、どれぐらいの
^{はや}速さで^{うご}動いているのかってわかるの？



アインシュタインが若いころに思ったこと



いま わたし の
今、私が乗っているこのエ
レベーターの綱が切れて、ビ
ルの下まで落ちていいたら、
私はどのように運動するの
だろう。そもそも、落ちてい
ることに気づくのか？

なん てんさい かみひとえ
何とかと天才は紙一重



時速100キロで走る車から進行方向と逆に時速100キロのボールを投げたら？

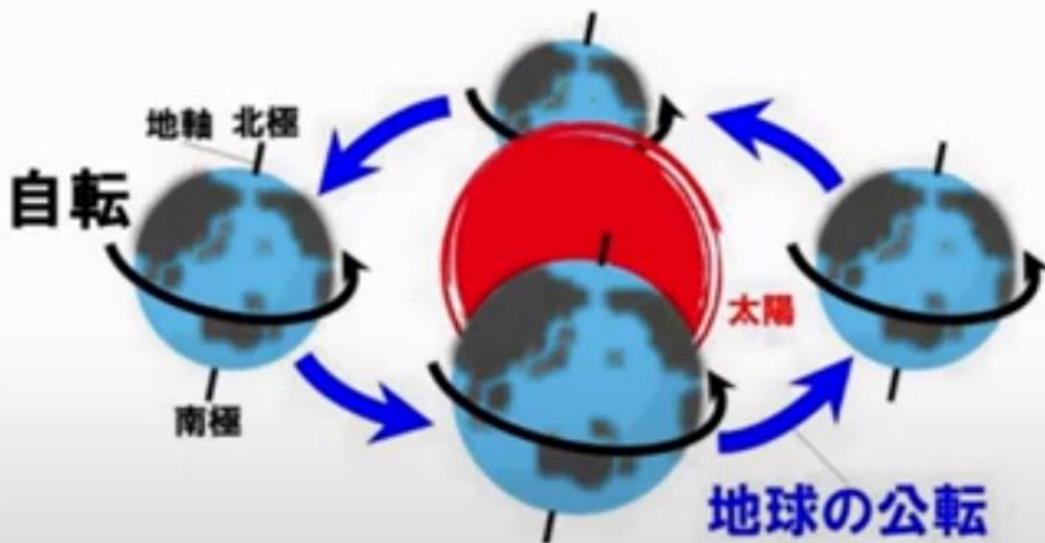
皆さんは止まっていますか？

うちゅう

み

うご

宇宙から見ると動いている



地球はものすごいスピードで宇宙を進み、その速さは時速約10万7000 km！ 月や惑星に向かうロケットでも時速約4万kmですから、地球上にあるどんな乗り物よりも速く、回転していて、赤道上では時速約1700kmもの速さになります。

せきどう たいじゅう はか ほっきよく かる

赤道で体重を測ると北極よりも0.5%軽くなる

体重50 kgの人なら
250g もお得！



たいふう きたはんきゅう ひだりま

台風は北半球では左巻き



ひかり せいしつ

光の性質



ひかり はや
光の速さ

光の速さ



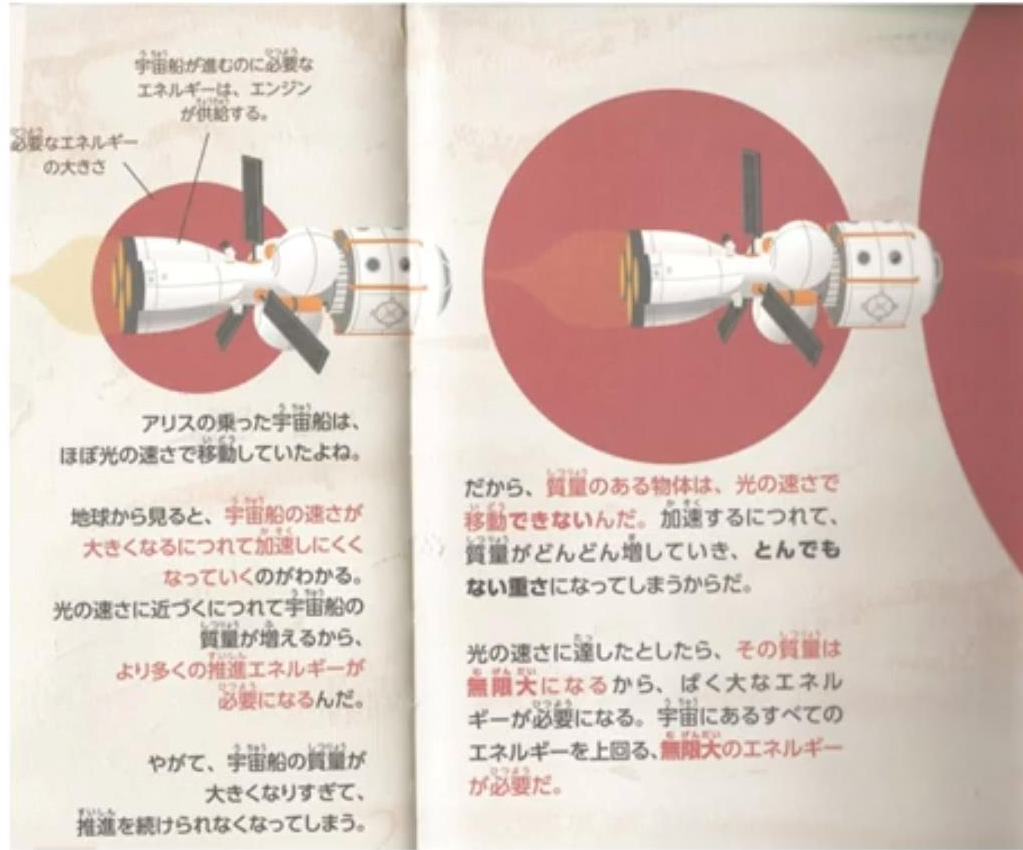
光の進む速さはつねに^か変わらず、
秒速300,000キロメートル

であるというのが、宇宙^{うちゅう}の基本法則^{きほんほうそく}なんだ。

しかも、光より速く進めるものは^{そんざい}存在しないんだ。



その3 速く移動するほど質量はふえる



まともなニュートンが言ったこと



とま^とまっているものを動か^{うご}かす、動^{うご}いているものを止^とめるためには力^{ちから}が必要^{ひつよう}。

$$\text{力} \quad \mathbf{F} = \text{質量} \text{ 加速度} \quad ma$$

その2

ぶ^ぶったい^{たい} ち^ちから^ら く^く 物体に力を加えると、か^かそ^そく^くど^ど し^しょう^{ょう} 加^か速^そ度が生じ、その加^か速^そ度^どの^のお^おお^お ち^ちから^ら お^おお^お ひ^ひれ^れい^い ぶ^ぶったい^{たい} し^しつ^つり^りよ^うう^う 度^どの^のお^おお^お ち^ちから^ら お^おお^お ひ^ひれ^れい^い ぶ^ぶったい^{たい} し^しつ^つり^りよ^うう^う 大きさは力の大きさに比例し、物体の質量に反比例する



その4 質量とエネルギーは等価である

$$E = mc^2$$

エネルギー
質量
光の速さ

20グラムの消しゴムが全てエネルギーになると?

$$E = 20 \times 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2$$
$$= 1.8 \times 10^{15} \text{ [J]}$$



その4 質量とエネルギーは等価である

$$E = mc^2$$

エネルギー
質量
光の速さ

20グラムの消しゴムが全てエネルギーになると?

$$E = 20 \times 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2$$
$$= 1.8 \times 10^{15} \text{ [J]}$$



すいそぱくだん
水素爆弾の
エネルギー
ひってき
に匹敵



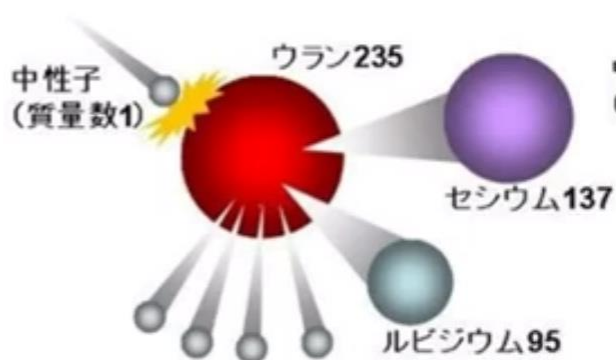
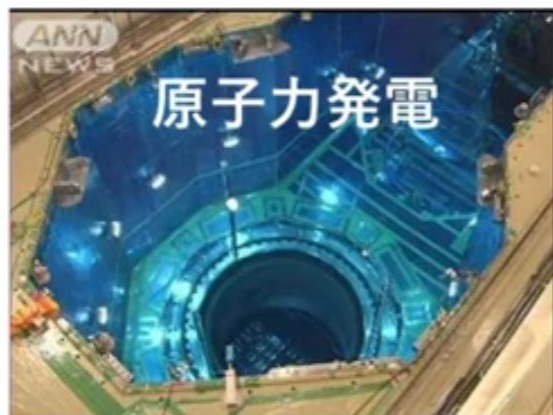
エネルギー

$$E = mc^2$$

質量

光の速さ

が使われているところ



わ
ウランが割れてセシウムとルビジウムになるが、セシウムとルビジ
しつりょう しつりょう すこ た
ウムの質量を合わせてもウランの質量にはならず、少し足りない





時速100キロで走る車から進行方向と逆に時速100キロのボールを投げたら？

インシュタインの活躍の少し前、^{かつやく すこ まえ ひかり ふしぎ}光の不思議さが、
^{けんきゅう}さかんに研究されていた



はや はや はか
速さが速すぎてうまく測れない！



ひかり しつりょう な
光には質量が無いらしい！



ざひょうけい そくど か
どんな座標系でも速度が変わらない！



ひかり

ちが

光はリモコンカーと違う！

このリモコンカーの速さは？

アルベルト
博士

アリス

$V_{\text{光}}$

30 km/h

$V_{\text{電車}}$

30万 km/s

電車の速
時速30
メートル

アリスから見ると、
リモコンカーは
決まった速さで
走っている。

$V_{\text{光}}$
30万 km/s

アルベルト博士から見ると、
リモコンカーは、電車と
リモコンカーの速さを足した
速さで走っている。

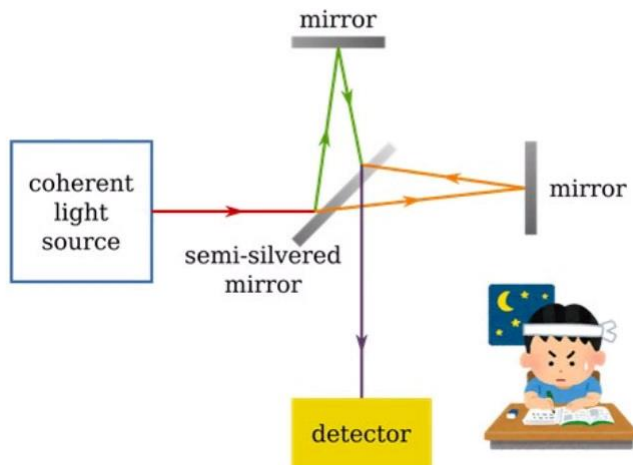
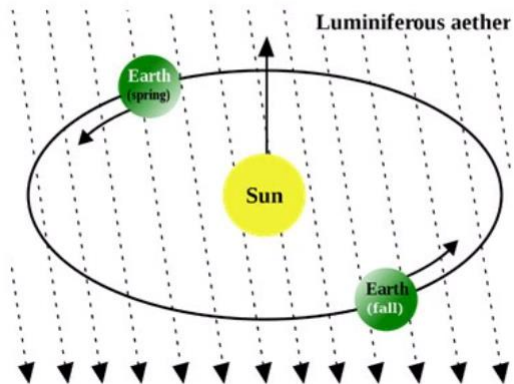
$V_{\text{電車}} + V_{\text{光}}$

30 km/時 + 30万 km/時 = 30万030 km/時

電車の中にあるアリスには光の秒速は 30万km/s に見える
ホームにいる博士には光の秒速は 30万km/s+電車の速度に
見えるはず



じっけん
マイケルソン・モーリーの実験



どっちの光が早くつくかな？



どんな方向に向けても、同時に到着した



でもそうはならない

このリモコンカーの速さは？

アルベルト
博士

アリス

$V_{\text{光}}$

30 km/h

$V_{\text{電車}}$

30万 km/s

電車の速
時速30
メートル

アリスから見ると、
リモコンカーは
決まった速さで
走っている。

$V_{\text{光}}$

30万 km/s

アルベルト博士から見ると、
リモコンカーは、電車と
リモコンカーの速さを足した
速さで走っている。

~~X~~ + $V_{\text{光}}$

30 km/時 + 30万 km/s

博士にも光の秒速は 30万km/sに見える



ひかり はや
光の速さ

光の速さ(真空中の)

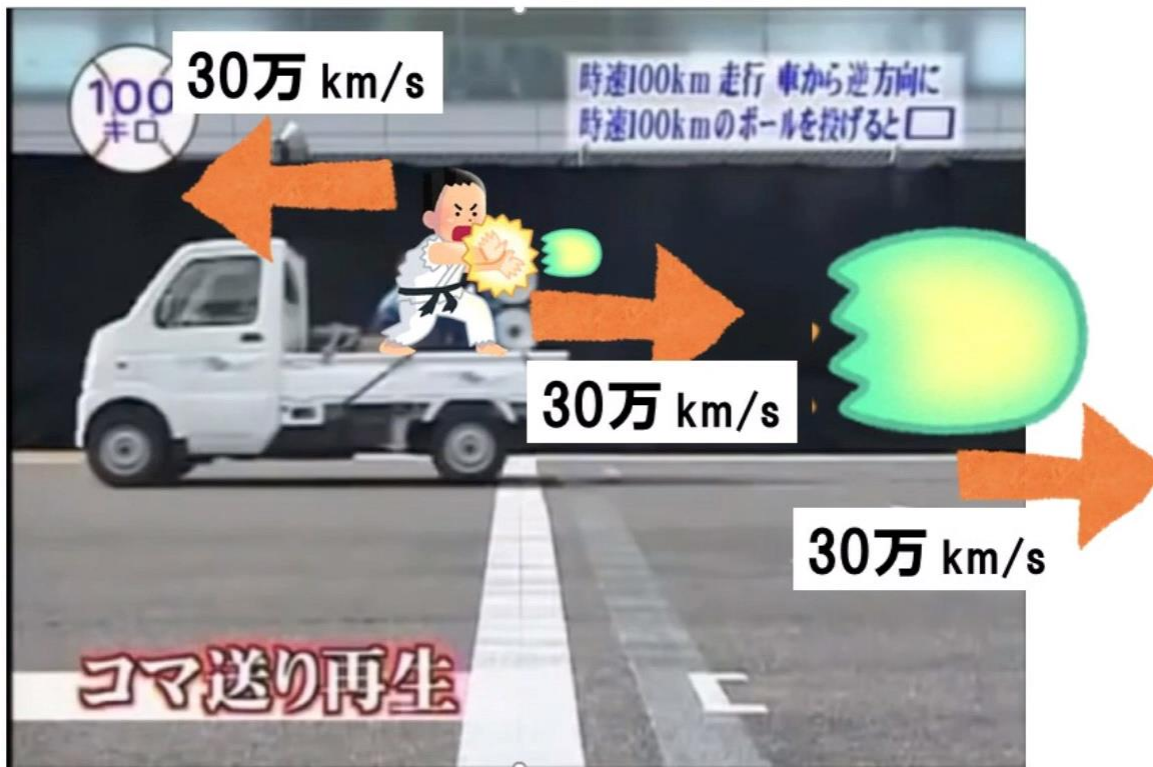


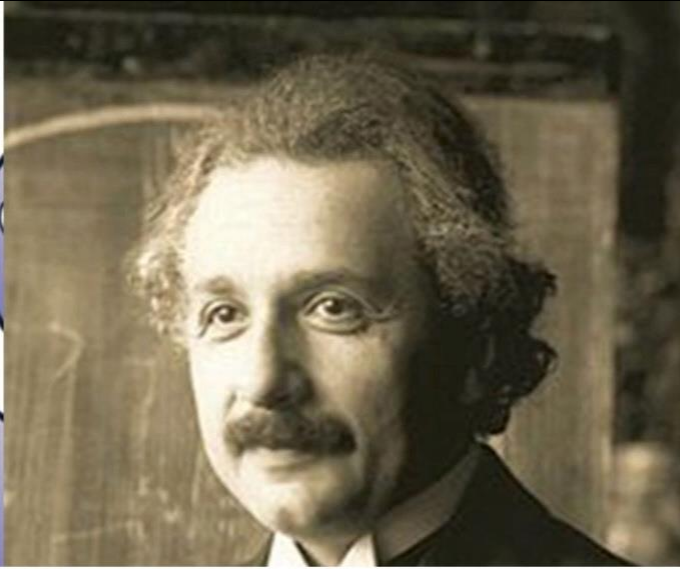
光の進む速さはつねに^か変わらず、
秒速300,000キロメートル

であるというのが、^{うちゅう}宇宙の^{きほんほうそく}基本法則なんだ。

しかも、光より速く進めるものは^{そんざい}存在しないんだ。







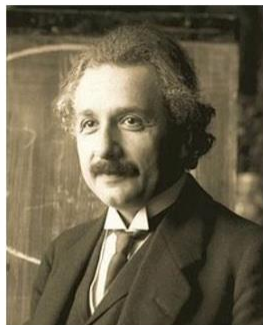
ひかり はや つね いったい
そうだ！ 光の速さが常に一定に
くうかん ちぢ
なるためには、空間が縮んだり、
じかん おそ すす
時間が遅く進めばつじつまがあう！



とくしゅそうたいせいりろん

特殊相対性理論 (1905年 31ページ)

891



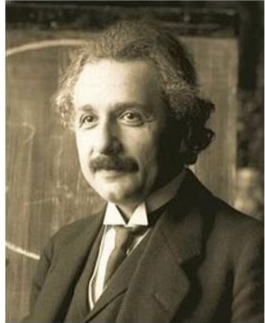
3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhafthen scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der



とくしゅそうたいせいりろん

特殊相対性理論 (1905年 31ページ)



II. Elektrodynamischer Teil.

§ 6. Transformation der Maxwell-Hertz'schen Gleichungen für den leeren Raum. Über die Natur der bei Bewegung in einem Magnetfeld auftretenden elektromotorischen Kräfte.

Die Maxwell-Hertz'schen Gleichungen für den leeren Raum mögen gültig sein für das ruhende System K , so daß gelten möge:

$$\begin{aligned}\frac{1}{V} \frac{\partial X}{\partial t} &= \frac{\partial N}{\partial y} - \frac{\partial M}{\partial x}, & \frac{1}{V} \frac{\partial L}{\partial t} &= \frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{\partial Z}{\partial y}, \\ \frac{1}{V} \frac{\partial Y}{\partial t} &= \frac{\partial L}{\partial x} - \frac{\partial N}{\partial z}, & \frac{1}{V} \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial z}, \\ \frac{1}{V} \frac{\partial Z}{\partial t} &= \frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\partial L}{\partial y}, & \frac{1}{V} \frac{\partial N}{\partial t} &= \frac{\partial X}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial x},\end{aligned}$$

wobei (X, Y, Z) den Vektor der elektrischen, (L, M, N) den der magnetischen Kraft bedeutet.

Wenden wir auf diese Gleichungen die in § 3 entwickelte Transformation an, indem wir die elektromagnetischen Vorgänge auf das dort eingeführte, mit der Geschwindigkeit v bewegte Koordinatensystem beziehen, so erhalten wir die Gleichungen:

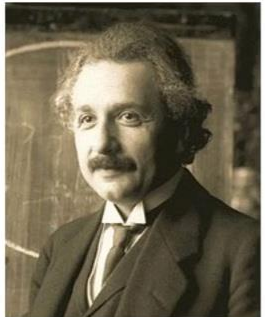
$$\begin{aligned}\frac{1}{V} \frac{\partial X}{\partial \tau} &= \frac{\partial \beta \left(N - \frac{v}{V} Y \right)}{\partial \eta} - \frac{\partial \beta \left(M + \frac{v}{V} Z \right)}{\partial \zeta}, \\ \frac{1}{V} \frac{\partial \beta \left(Y - \frac{v}{V} N \right)}{\partial \tau} &= \frac{\partial L}{\partial \zeta} - \frac{\partial \beta \left(N - \frac{v}{V} Y \right)}{\partial \xi},\end{aligned}$$



くしゅそうたいせいりろん
 時速100キロで走る車から進行方向と逆に時速100キロのボールを投げたら？



特殊相対性理論 (1905年 31ページ)



$$\text{Longitudinale Masse} = \frac{\mu}{\left(\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}\right)^3},$$

$$\text{Transversale Masse} = \frac{\mu}{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}.$$

Natürlich würde man bei der Definition der Kraft und der Beschleunigung andere Gesetze erhalten; man ersieht daraus, daß die Anwendung verschiedener Theorien der Physik sehr vorsichtig verfahren muß.

Wir bemerken, daß die Gesetze für die ponderablen und unponderablen materieller Punkte (kleinen elektrischen Ladungen im Sinne) gemacht werden.



...e auch ... beliebig ... unserem

Gleichungen:

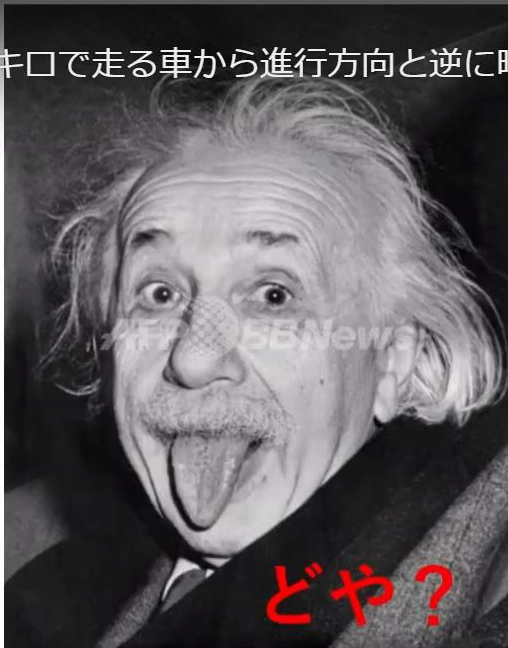
$$\frac{1}{V} \frac{\partial X}{\partial \tau} = \frac{\partial \beta \left(N - \frac{v}{V} Y \right)}{\partial \eta},$$

$$\frac{1}{V} \frac{\partial \beta \left(Y - \frac{v}{V} N \right)}{\partial \tau} = \frac{\partial L}{\partial \zeta} - \frac{\partial \beta \left(N - \frac{v}{V} Y \right)}{\partial \xi},$$





時速100キロで走る車から進行方向と逆に時速100キロのボールを投げたら？



□





時速100キロで走る車から進行方向と逆に時速100キロのボールを投げたら？

双子のパラドックス

はや いどう じかん

その1 速く移動するほど時間はおくれる



ウーキー族



チューバッカ



ミレニアムファルコン号



最高速度は光速の1.5倍超高速によるワープ航行が可能だが、実は光の速さよりも速く飛ぶことができる。最高速度は光速の1.5倍といわれており、人知を超えたスピードで銀河系を移動できる能力がある。

ふたご
双子のパラドックス

はや いどう じかん
その1 速く移動するほど時間はおくれる



ウーキー族



チューバッカ



ふたご
双子のパラドックス

はや いどう じかん
その1 速く移動するほど時間はおくれる



ウーキー族

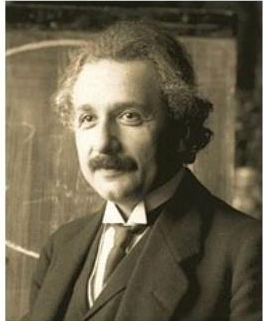


チューバッカ



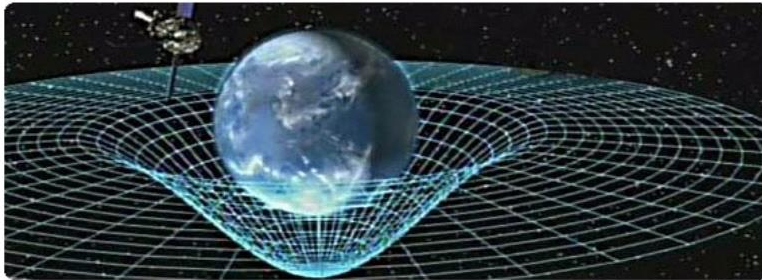
いっばんそうたいせいりろん

一般相対性理論



とくしゅそうたいせいりろん じゅうりょく じくうかん
特殊相対性理論を重力のある時空間

かくちょう りろん
へ拡張した理論



<https://dictionary.hatenadiary.jp/entry/2018/09/08/000000>

じゅうりょく くうかん

重力は空間のゆがみによって生じる

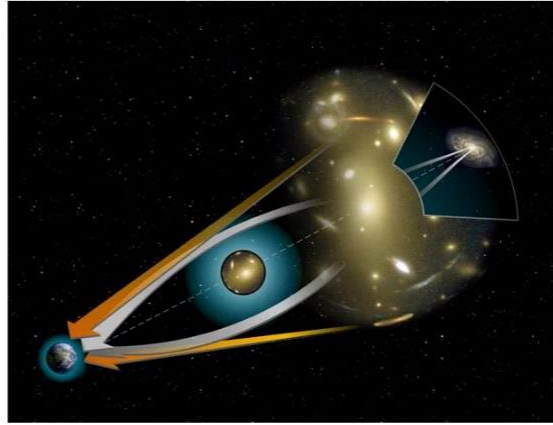
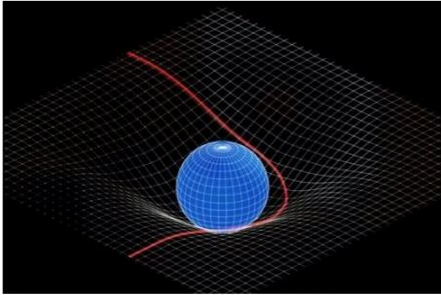
しつりょう

質量の大きいものほど、ゆがみも大きい



じゅうりよく こうか
重力レンズ効果


ひかり とうかん そ
光は空間のゆがみに沿ってすすむ



ほし うし がわ ほんらい
このため、星の後ろ側にあって本来は
み てんたい み
見えないはずの天体が見える





Gravitational Lens in Galaxy Cluster Abell 1689  HUBBLESITE.org





あるらしい！

2019年に^{さつえい}撮影に^{せいこう}成功！！

撮影した巨大 ブラックホール

光がのみ込まれた
部分

ガスによる光の輪。
明るさに偏りがある

← 噴き出す
ジェット

のみ込まれる
円盤状のガス

M87銀河の巨大ブラックホール
(想像図)

※国立天文台などの国際チーム
の資料を基に作成

<https://www.sankei.com/life/news/190602/lif1906020001-n1.html>

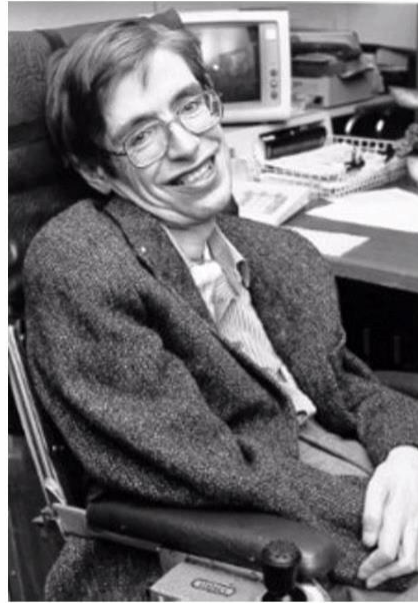


ブラックホールの中

のみ込まれた物質や光はブラックホールの外に脱出できない



この先がどうなっているのかは良く分かっていない



スティーヴン・ウィリアム・
ホーキング (1942年- 2018年)



ブラックホール

おお しつりょう ひじょう ちい くうかん しゅうちゅう
ものすごく大きな質量が非常に小さい空間に集中

くうかん きょくたん おお
すると空間のひずみが極端に大きくなる

のみ込まれた物質や光はブラックホールの外に脱出できない



ひかり だっしゅつ
光ですら脱出することが
できない=見えない



ほんまにそんなもん、あるんけ？



ブラックホールの中

のみ込まれた物質や光はブラックホールの外に脱出できない



ブラックホ



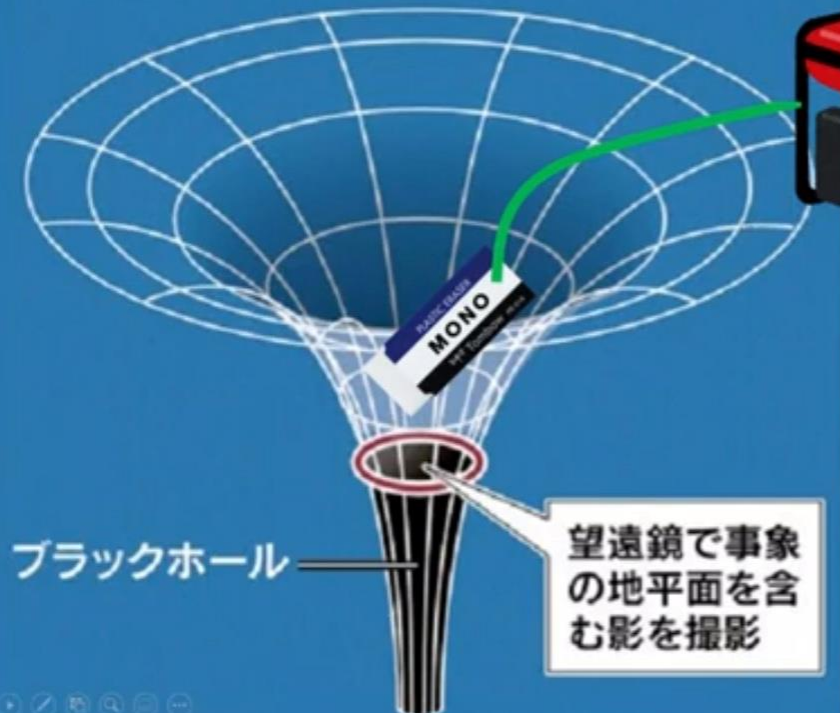
アム・
(2018年)

この
るの
は長
く分
がら
つて
いな
い



ブラックホールにゴミを捨てたらいいんじゃない？

のみ込まれた物質や光はブラックホールの外に脱出できない



はつでんき
発電機

$$E = mc^2$$



ブラックホールにゴミを捨てたらいいんじゃない？

のみ
外に

でんき
電機

mc^2

ゴミ問題は一挙に
解決だ！





光速を基準とした新しい
理論が出来るのでは？

「光速度不変の原理」



相対性理論

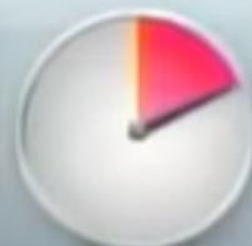
「光の速度を絶対的な基準にすればいい。」

これは光速度不変の原理と呼ばれ、

この原理を基にして生まれた理論が相対性理論なのです。🌍

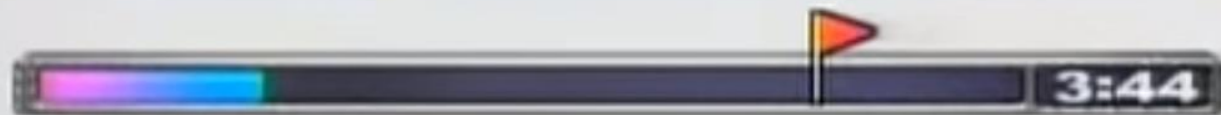
4分ちょっとでわかる!?

相対性理論



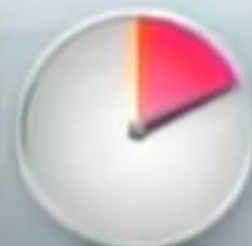
時計

光を出す装置



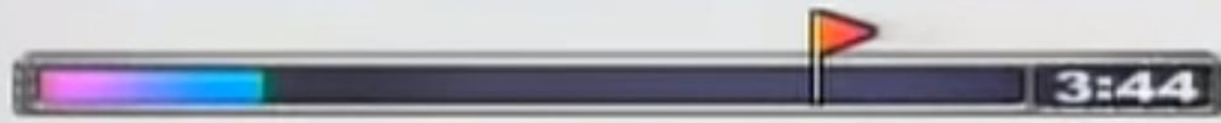
4分ちょっとでわかる!?

相対性理論



時計

光を出す装置

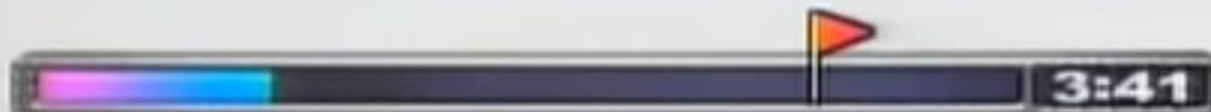


4分ちょっとでわかる!?

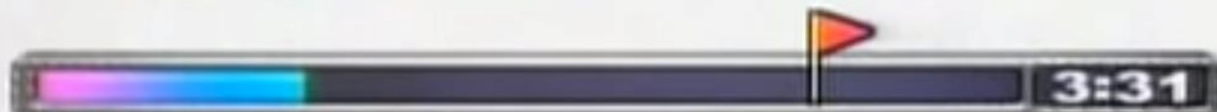
相対性理論



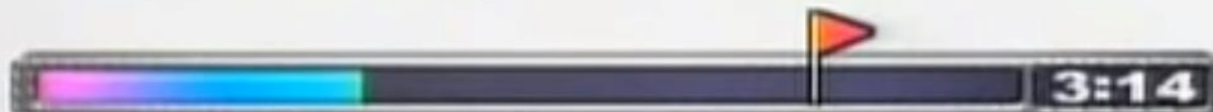
光を出す装置



4分ちょっとでわかる!?
相対性理論



4分ちょっとでわかる!?
相対性理論



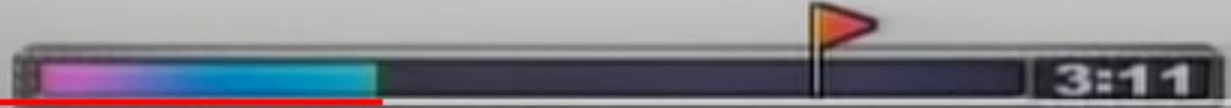


4分50秒でわかる 相対性理論

後で見る 共有



ビデオプレーヤー



▶ 🔊 1:54 / 5:06

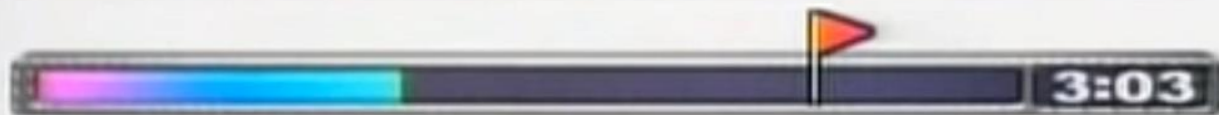
📺 ⚙️ YouTube 📺 🔍

宇宙船

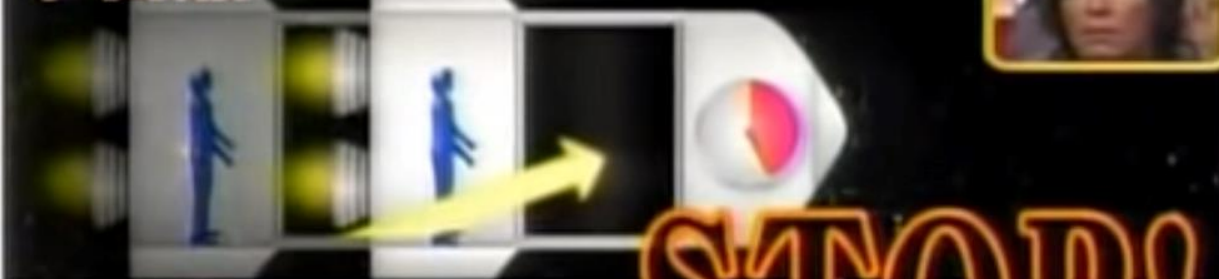
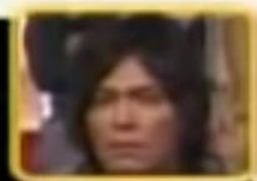


2つを同時にスタート

地球



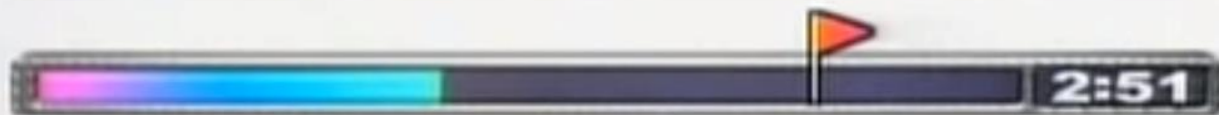
宇宙船



STOP!



地球

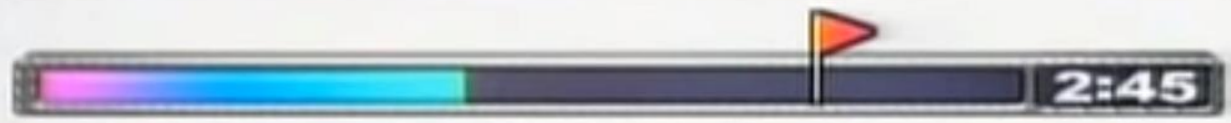


宇宙船

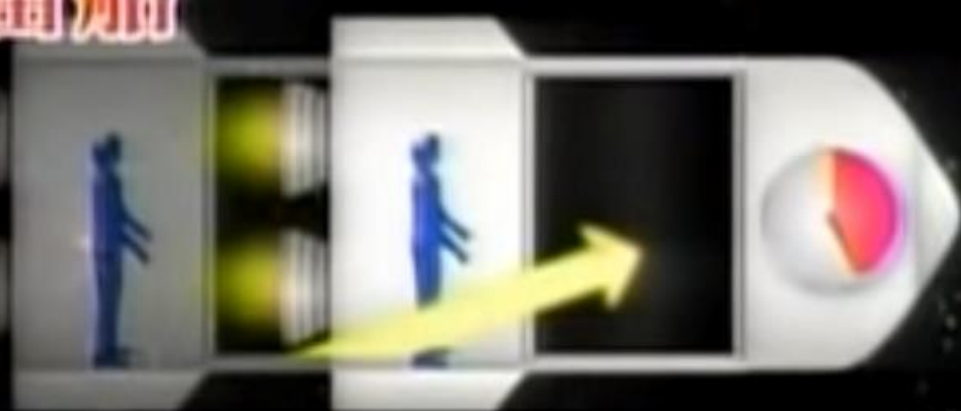


地球

1秒たっている
光が天井に到着



宇宙船



同じ速さで
同じ距離を進んだ

地球



宇宙船

まだ1秒たっていない

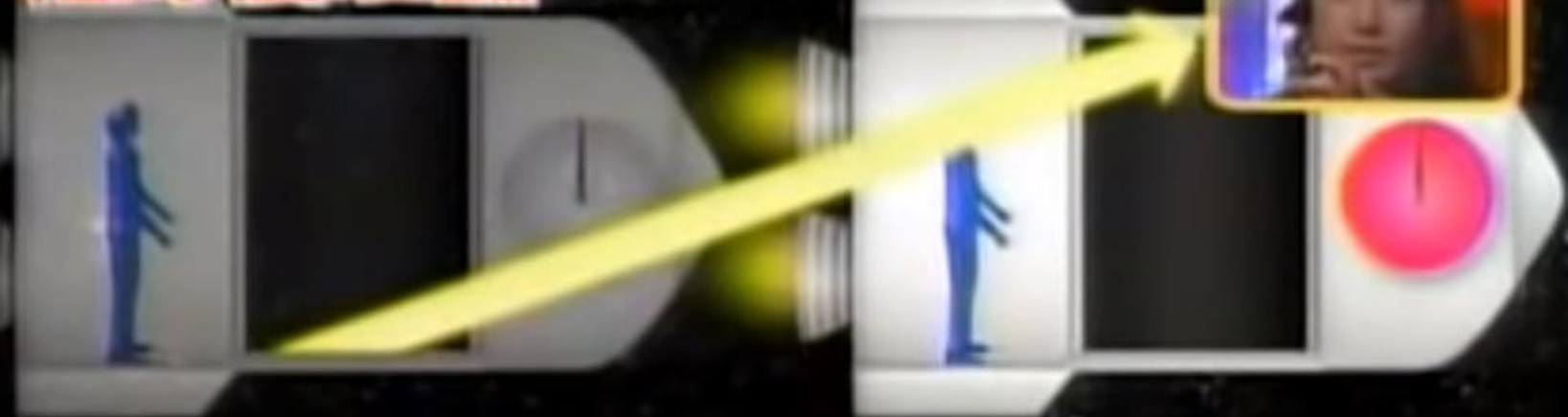


1秒たった

地球



4分ちょっとでわかる!?
相対性理論



相対性理論

移動する物体の時間はゆっくり流れる

2:08



NPO法人函館プラネタリウム の会について

亀田老人大学の皆様
お招きいただきまして
ありがとうございました。

