



Đây là bản ghi lại nội dung của giáo sư Walter Lewin trên lớp. Xem toàn bộ bài giảng này bạn có thể tìm <http://www.mientayvn.com> > Học lý luận > Học kỹ thuật công nghệ Massachusetts > vật lý > cơ học cổ điển > chương I.

MIT OpenCourseWare
<http://ocw.mit.edu>

8.01 Physics I: Classical Mechanics, Fall 1999

Please use the following citation format:

Walter Lewin, *8.01 Physics I: Classical Mechanics, Fall 1999*. (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare). <http://ocw.mit.edu> (accessed MM DD, YYYY). License: Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike.

Note: Please use the actual date you accessed this material in your citation.

For more information about citing these materials or our Terms of Use, visit: <http://ocw.mit.edu/terms>

MIT OpenCourseWare
<http://ocw.mit.edu>

8.01 Physics I: Classical Mechanics, Fall 1999
Transcript – Lecture 1

I'm Walter Lewin.
Tôi là Walter Lewin.

In physics, we explore the very small to the very large.
Trong vật lý, chúng ta nghiên cứu những cái rất nhỏ và rất lớn
The very small is a small fraction of a proton and the very large is the universe itself.

Những cái rất nhỏ như là các hạt proton và những cái rất lớn như là chính
vũ trụ của chúng ta.

They span 45 orders of magnitude—

Kích thước của vũ trụ lớn gấp 45 bậc về số lượng so với kích thước các hạt thành proton.

a 1 with 45 zeroes.
1 và 45 số 0

To express measurements quantitatively we have to introduce units.

biểu diễn phép đo một cách định lượng, chúng ta phải đưa vào đơn vị.

And we introduce for the unit of length, the meter;

Chúng ta có đơn vị dài là mét

for the unit of time, the second;
đơn vị thời gian là giây

and for the unit of mass, the kilogram.
đơn vị khối lượng là kilôgam

Now, you can read in your book how these are defined and how the definition evolved historically.

Và nhà, các em có thể tìm sách bất kỳ nào trong này để tìm hiểu định nghĩa nào và những định nghĩa này có liên quan như thế nào.

Now, there are many derived units which we use in our daily life for convenience and some are tailored toward specific fields.

Hình này, có nhiều đơn vị dẫn xuất mà chúng ta dùng trong cuộc sống hàng ngày như phút và mét giây hàng nghìn như là đơn vị chuyên môn.

We have centimeters, we have millimeters kilometers. We

have inches, feet, miles.

Chúng ta có centimét, chúng ta có milimét, kilômét. Chúng ta

có inch, phút, d m.

Astronomers even use the astronomical unit which is the mean distance between the Earth and the sun and they use light-years which is the distance that light travels in one year.

Thậm chí, các nhà thiên văn sử dụng những đơn vị thiên văn là khoảng cách giữa Trái đất và mặt trời và họ dùng năm ánh sáng là khoảng cách mà ánh sáng truyền đi trong một năm.

We have milliseconds, we have microseconds we have days, weeks, hours, centuries, months--
all derived units.

Chúng ta có miligiây, chúng ta có micro giây, chúng ta có ngày, tuần, giờ, thế kỷ, tháng, thế kỷ -- tất cả đều là đơn vị dẫn

xu t.

For the mass, we have milligrams, we have pounds we have metric tons. So lots of derived units exist.

i v i kh i l ng, chúng ta có miligam, chúng ta có pao chúng ta có t n. Vì v y có nhi u n v d n xu t ang t n t i.

Not all of them are very easy to work with.
Có m t s h n v r t khó s d ng.

I find it extremely difficult to work with inches and feet. It's an extremely uncivilized system.

Tôi th y c c kì khó làm vi c v i ins và phút. Nó là m t h n v quá hoang s .

I don't mean to insult you, but think about it—
Tôi không có ý xúc ph m, nh ng hãy th ngh xem

12 inches in a foot, three feet in a yard.

12 ins b ng m t phút, 3 phút b ng m t th t Anh.

Could drive you nuts.
Nó làm u óc b n r i tung lên

I work almost exclusively decimal, and I hope you will do the same during this course but we may make some exceptions.

Tôi h u nh ch làm vi c v i h n v SI, và tôi hi v ng các b n c ng s dùng nó trong su t khóa h c này nh ng có th có m t s ngo i l .

I will now first show you a movie, which is called *The Powers of Ten*. It covers 40 orders of magnitude.

u tiên, tôi s cho các b n xem m t o n phim có tên là *S c m nh c a s 10*. Nó c p n 40 b c v l n.

It was originally conceived by a Dutchman named Kees Boeke in the early '50s.

Nó b t ngu n t ý t ng c a m t ng i an M ch tên là Kees Boeke vào u nh ng n m 50.

This is the second-generation movie, and you will hear the voice of Professor Morrison, who is a professor at MIT.

ây là phim c t o l i, và b n s nghe gi ng c a giáo s Morrison, ông là giáo s t i i h c MIT.

The Power of Ten--40 Orders of Magnitude. Here we go.

S c m nh c a s 10 - 40 b c v l n. ây r i.

I already introduced, as you see there length, time and mass and we call these the three fundamental quantities in physics.

Nh tôi ã gi i thi u, b n th y dài, th i gian và kh i l ng là ba n v c b n trong v t lí.

I will give this the symbol capital L for length capital T for time, and capital M for mass.

Tôi s kí hi u dài là L, th i gian là T, và kh i l ng là M.

All other quantities in physics can be derived from these fundamental quantities.

T t c nh ng i l ng khác trong v t lí có th c rút ra t nh ng i l ng c b n này.

I'll give you an example.

Tôi s cho b n m t ví d .

I put a bracket around here.

Tôi t d u ngo c quanh ây.

I say [speed] and that means the dimensions of speed.

Tôi nói [speed] có ngh a là th nguyên c a t c .

The dimensions of speed is the dimension of length divided by the dimension of time. So I can

write for that: [L] divided by [T].

Th nguyên c a t c là th nguyên c a dài chia cho th nguyên c a th i gian. Vì v y, tôi có

th vi t là [L] chia cho [T]

Whether it's meters per second or inches per year that's not what matters.

Cho dù nó là mét trên giây ho c in s trên n m thì c ng không có v n gì.

It has the dimension length per time.

Nó có th nguyên là dài trên th i gian.

Volume would have the dimension of length to the power three.

Th tích s có th nguyên là dài l y th a 3

Density would have the dimension of mass per unit volume so that means length to the power three.

Mật độ có thể nguyên là khối lượng trên mét khối tích nghĩa là khối lượng trên đơn vị thể tích.

All-important in our course is acceleration.

Tất cả những gì quan trọng trong khóa học này

chúng ta là gia tốc.

We will deal a lot with acceleration.

Chúng ta sẽ sử dụng khái niệm gia tốc nhiều.

Acceleration, as you will see, is length per time squared. The unit is meters per second squared.

Gia tốc, như bạn sẽ thấy, là độ dài trên thời gian bình phương.

Đơn vị là mét trên giây bình phương.

So you get length divided by time squared.

Vì vậy bạn lấy độ dài chia cho thời gian bình phương.

So all other quantities can be derived from these three fundamental.

Vì vậy tất cả những gì khác có thể rút ra từ ba đơn vị cơ bản này

So now that we have agreed on the units--

Vậy là chúng ta đã thống nhất đơn vị rồi

we have the meter, the second and the kilogram-- we
can start making measurements.

Chúng ta có mét, giây và kilogam – chúng ta có thể bắt

đầu công việc

Now, all-important in making measurements which is always ignored in every college book is the uncertainty in your measurement.

Tất cả những thứ quan trọng nhất luôn luôn bị bỏ qua trong các giáo trình chính là sai số trong phép đo của bạn.

Any measurement that you make without any knowledge of the uncertainty is meaningless.

Bất cứ phép đo nào bạn thực hiện mà không có kiến thức về sai số là vô nghĩa.

I will repeat this.

Tôi sẽ lặp lại điều này.

I want you to hear it tonight at 3:00 when you wake up.

Tôi muốn bạn nghe nó tối nay lúc 3 giờ khi bạn thức dậy.

Any measurement that you make without the knowledge of its uncertainty is completely meaningless.

Bất cứ phép đo nào bạn thực hiện mà không có kiến thức về sai số của nó là hoàn toàn vô nghĩa.

My grandmother used to tell me that...

Bà ngoại của tôi thường bảo tôi rằng.....

at least she believed it...

Ít nhất bà cũng tin rằng.....

that someone who is lying in bed is longer than someone who stands up.

Khi ai đó nằm thì họ sẽ dài hơn khi đứng.

And in honor of my grandmother I'm going to bring this today to a test.

Và trong sự kính trọng ngoại của tôi, hôm nay tôi sẽ mang điều này ra kiểm tra.

I have here a setup where I can measure a person standing up and a person lying down. It's not the greatest bed, but lying down.

Đây, tôi có một thiết lập nơi có thể đo một người đang đứng hoặc đang nằm. Nó không phải là cái giường tốt nhất nhưng cần thiết.

I have to convince you about the uncertainty in my measurement because a measurement without knowledge of the uncertainty is meaningless.

Tôi phải làm cho các bạn thấy sai số trong phép đo của tôi bởi vì đo mà không có kiến thức về sai số là vô nghĩa.

And therefore, what I will do is the following.

Và do đó, những gì tôi sẽ làm là như sau.

I have here an aluminum bar and I make the reasonable, plausible assumption that when this aluminum bar is sleeping--

Đây tôi có một thanh nhôm và cho hình lý tôi giờ đứng khi thanh nhôm này nằm ngang --
when it is horizontal—
khi nó nằm ngang--

that it is not longer than when it is standing up.
S không dài hơn khi nó đứng thẳng.

If you accept that, we can compare the length of this aluminum bar with this setup and with this setup.
Nếu bạn chấp nhận điều đó, chúng ta có thể so sánh chiều dài của thanh nhôm này trong hình này và trong hình này.

At least we have some kind of calibration to start with.
Ít nhất, chúng ta có vài loại phép đo để bắt đầu.

I will measure it.
Tôi sẽ đo nó.

You have to trust me.
Bạn phải tin tôi.

During these three months, we have to trust each other.

Trong suốt ba tháng này, chúng ta phải tin nhau.

So I measure here, 149.9 centimeters.

Tôi đo đây, 149.9 centimet

However, I would think that the...

Tuy nhiên, tôi nghĩ rằng.....

so this is the aluminum bar.

Vì vậy đây là thanh nhôm.

This is in vertical position.

Đây là vị trí thẳng đứng.

149.9.

But I would think that the uncertainty of my measurement is probably 1 millimeter.

Nhưng tôi nghĩ rằng sai số trong phép đo của tôi có lẽ là một milimet.

I can't really guarantee you that I did it accurately any better.

Thật vậy, tôi không thể đảm bảo về độ chính xác của phép đo của tôi.

So that's the vertical one.

Đây là cây thước thẳng đứng.

Now we're going to measure the bar horizontally for which we have a setup here.

Bây giờ chúng ta sẽ đo thanh nam châm ngang trong hình mà chúng ta thì đặt ở đây.

Oop! The scale is on your side.

Oh! Thước ở phía các bạn.

So now I measure the length of this bar.

Bây giờ tôi đo dài của thanh này.

150.0 horizontally.

150.0 ngang.

150.0, again, plus or minus 0.1 centimeter.

Lại một lần nữa, 150.0 centimet ± 0.1 centimet.

So you would agree with me that I am capable of measuring plus or minus 1 millimeter.

Vì vậy các bạn nghĩ về tôi rằng tôi có thể đo chính xác đến ± 1 milimet.

That's the uncertainty of my measurement.

Đây là sai số trong phép đo của tôi.

Now, if the difference in lengths between lying down and standing up if that were one foot we would all know it, wouldn't we? You get out of bed in the morning you lie down and you get up and you go, clunk! And you're one foot shorter.

Bây giờ, nếu sự khác nhau về độ dài giữa nằm và đứng là một mét thì tất cả chúng ta sẽ biết, đúng không? Buổi sáng, bạn thức dậy, bạn nằm xuống và bạn đi ra khỏi giường, cộp! và bạn lùn đi một mét.

And we know that that's not the case.

Và chúng ta biết rằng không thể như thế được.

If the difference were only one millimeter we would never know.

Mà nếu sự khác nhau chỉ là một milimet thì chúng ta sẽ không bao giờ nhận thấy được.

Therefore, I suspect that if my grandmother was right then it's probably only a few centimeters, maybe an inch.

Do đó, tôi cho rằng nếu bà ngoại tôi đúng thì có lẽ chỉ vài centimet, có lẽ là một vài inch.

And so I would argue that if I can measure the length of a student to one millimeter accuracy that should settle the issue.

Và vì vậy, tôi lí lu n r ng n u tôi có th o chi u dài c a m t sinh viên chính xác n m t milimet thì s t c
ch tiêu ra.

So I need a volunteer.

Vì vậy tôi c n m t tình nguy n viên.

You want to volunteer? You look like you're very tall.

B n có mu n làm tình nguy n viên không? Trông b n r t cao.

I hope that... yeah, I hope that we don't run out of, uh...

Tôi hi v ng r ng....vâng. tôi hi v ng r ng chúng ta s không tr gi

You're not taller than 178 or so? What is your name? STUDENT: Rick Ryder.

B n không cao h n 178 úng không? Tên em là gì? SV: Rick Ryder

LEWIN: Rick--

Rick Ryder.

You're not nervous, right? RICK: No! LEWIN: Man!

B n không c ng th ng?

[class laughs]

Sit down.

V ch

[class laughs]

I can't have tall guys here.

Ôi anh y quá cao

Come on.

Nào

We need someone more modest in size.

Chúng ta cần một người có chiều cao khiêm

t nh n.

Don't take it personal, Rick.

ng b ng nh ng gì tôi nói nhé, Rick

Okay, what is your name? STUDENT: Zach.

R i, tên em là gì?

LEWIN: Zach.

Nice day today, Zach, yeah? You feel all right? Your first lecture at MIT? I don't. Okay,

man.

M t ngày t t lành nhé Zach? Em cảm thấy n ch ? ây là khóa học u tiên của em MIT

à? D không.

Uh, chàng trai

Stand there, yeah.

ng ó nhé

Okay, 183.2.

Ah, 183.2.

Stay there, stay there.

yên ó, yên ó.

Don't move.

Không di chuyển.

Zach...

This is vertical.

ây là khi ng

What did I say? 180? Only one person.

coi nào ? 180?

183? Come on.

không, 183
.2--

Okay, 183.2.

R i, 183.2

Yeah.

Vâng

And an uncertainty of about one...

Và sai số chung quanh nó là.....

Oh, this is centimeters—

Oh, đây là centimet - -

0.1 centimeters.

And now we're going to measure him horizontally.
Và bây giờ chúng ta sẽ đo anh ấy khi nằm.

Zach, I don't want you to break your bones so we have a little step for you here. Put your feet there.

Zach, tôi không muốn làm chân em đau vì vậy chúng ta có một bệ nhỏ để bạn đặt chân em ở đó.

Oh, let me remove the aluminum bar.

Oh, tôi lấy thanh nhôm ra chỗ khác.

Watch out for the scale.

Chú ý tới cây thước đó.

That you don't break that, because then it's all over.
ng cố ng vào nó b i vì nh th s không o chính xác âu

Okay, I'll come on your side.
R i, tôi s i qua phía em.

I have to do that—

Tôi ph i làm vi c ó

yeah, yeah.

Vâng, vâng

Relax.
Th giãn nhé.

Think of this as a small sacrifice for the sake of science, right? Okay, you good?

Hãy ngh r ng em ang hi n mình cho m c ích khoa h c, úng không? Vâng, em n úng
không?

ZACH: Yeah.

LEWIN: You comfortable?
Em tho i mái không?

[students laugh]

You're really comfortable, right?

Em th t s tho i mái ch ?

ZACH: Wonderful.

Tuy n v i

LEWIN: Okay.

Uh

You ready?

Em s n sàng ch a ?

ZACH: Yes. LEWIN:

Okay.

Vâng

Okay.
Vâng

185.7.

Stay where you are.
yên ch em nhé.

185.7.

I'm sure... I want to first make the subtraction, right? 185.7, plus or minus 0.1 centimeter. Oh, that is five...

Tôi m b o..... u tiên tôi mu n làm phép tr , úng không? 185.7, c ng ho c tr 0.1 centimet. Oh, ó là 5.....

that is 2.5 plus or minus 0.2 centimeters.
B ng 2.5 c ng ho c tr 0.2 centimet.

You're about one inch taller when you sleep than when you stand up.

Khi b n ng thì s cao h n khi b n ng m t inch.

My grandmother was right.

Bà ngo i tôi úng.

She's always right.
Bà y luôn luôn úng

Can you get off here? I want you to appreciate that the accuracy...

Em có th v ch c r i? Tôi mu n các b n ánh giá úng m c chính xác

Thank you very much, Zach.

Cám n nhi u nhé Zach.

That the accuracy of one millimeter was more than sufficient to make the case.
S chính xác n m t milimet là quá cho tr ng h p này.

If the accuracy of my measurements would have been much less this measurement would not have been convincing at all.

N u s chính xác trong phép o c a tôi nh h n nhi u so v i phép o này thì s không thuy t ph c c ai c .

So whenever you make a measurement you must know the uncertainty.

Vì vậy bất cứ khi nào bạn đo, bạn phải biết sai số

Otherwise, it is meaningless.

Ngay cả khi, nó hoàn toàn vô nghĩa.

Galileo Galilei asked himself the question: Why are mammals as large as they are and not much larger? He had a very clever reasoning which I've never seen in print.

Galileo Galilei thì hỏi rằng: Tại sao động vật có vú chỉ lớn như thế chứ không lớn hơn nữa? Anh ấy có một lý lẽ sắc sảo mà tôi không thấy nói trong sách vở.

But it comes down to the fact that he argued that if the mammal becomes too massive that the bones will break and he thought that that was a limiting factor.

Nhưng cuối cùng thì ông ta suy nghĩ rằng nếu động vật trở nên quá nặng thì xương sẽ gãy và anh ấy nghĩ rằng đó là một yếu tố hạn chế.

Even though I've never seen his reasoning in print I will try to reconstruct it what could have gone through his head.

Cho dù tôi chưa bao giờ thấy cách lý luận của ông ấy trong sách vở nhưng tôi sẽ thử xây dựng lại những gì mà ông ta nghĩ trong đầu.

Here is a mammal.

Đây là một động vật có vú.

And this is one of the four legs of the mammal.

Và đây là một trong bốn chân của nó.

And this mammal has a size S.

Giống như động vật này có kích thước S.

And what I mean by that is a mouse is yay big and a cat is yay big.

Và những gì tôi muốn nói là một con chuột thì nhỏ và một con mèo

lớn như thế đó

That's what I mean by size--

very crudely defined.

Điều tôi muốn nói là kích thước thực sự rất sai.

The mass of the mammal is M and this mammal has a thigh bone which we call the femur, which is here.

Khối lượng của động vật là M và nó có một xương đùi đây.

And the femur of course carries the body, to a large extent.

Và tất nhiên, trên một phạm vi rộng, xương đùi mang cơ thể.

And let's assume that the femur has a length l and has a thickness d. Here is a

femur.

Và chúng ta giả sử rằng xương đùi có chiều dài l và độ dày d. Đây là xương đùi

This is what a femur approximately looks like.

Xương đùi trông giống như vậy đó.

So this will be the length of the femur...

Vì vậy, \hat{y} là d và \hat{x} là A .
and this will be the thickness, d and this will be the cross-sectional area A .
và \hat{y} là d và \hat{x} là A .

I'm now going to take you through what we call in physics a scaling argument.
T ví dụ này, tôi muốn nói về các bản vật lý trong vật lý.

I would argue that the length of the femur must be proportional to the size of the animal. That's completely plausible.

Tôi sẽ lập luận rằng d phải tỷ lệ với kích thước của con vật. Điều này hoàn toàn hợp lý.

If an animal is four times larger than another you would need four times longer legs. And that's all this is saying.

Nếu một con vật lớn hơn con khác 4 lần thì chân nó phải dài hơn 4 lần. Và đó là những gì tôi muốn nói.

It's very reasonable.
Điều này rất hợp lý.

It is also very reasonable that the mass of an animal is proportional to the third power of the size because that's related to its volume.

Cũng rất hợp lý khi nói rằng khối lượng của con vật tỷ lệ với lập phương kích thước của nó vì nó có liên quan đến thể tích của nó.

And so if it's related to the third power of the size it must also be proportional to the third power of the length of the femur because of this relationship.

Và vì vậy nó liên quan đến lũy thừa bậc ba kích thước thì nó cũng phải liên quan đến lũy thừa bậc ba chiều dài xương đùi vì mối liên hệ này.

Okay, that's one.

Vâng, đó là một điều.

Now comes the argument.

Bây giờ chúng ta đi đến một điều khác.

Pressure on the femur is proportional to the weight of the animal divided by the cross-section A of the femur.

Áp lực trên xương đùi tỷ lệ với trọng lượng của con vật chia cho tiết diện A của xương đùi.

That's what pressure is.

Đó là định nghĩa áp lực.

And that is the mass of the animal that's proportional to the mass of the animal divided by d squared because we want the area here, it's proportional to d squared.

Và do vậy áp lực tỷ lệ với khối lượng của con vật chia cho bình phương bán kính vì chúng ta muốn diện tích ở đây, nó tỷ lệ với bình phương bán kính.

Now follow me closely.

Bây giờ hãy theo dõi tôi chặt chẽ nhé.

If the pressure is higher than a certain level the bones will break.

Nếu áp lực lớn hơn một mức nào đó, xương sẽ gãy.

Therefore, for an animal not to break its bones when the mass goes up by a certain factor let's say a factor of four in order for the bones not to break d squared must also go up by a factor of four.

Do đó, để con vật không bị gãy xương khi khối lượng của nó tăng lên một số nào đó, chiều dài phải là 4 thì bình phương bán kính cũng phải tăng lên 4.

That's a key argument in the scaling here.

Đó là một điều then chốt trong tỷ lệ này.

You really have to think that through carefully.

Thật sự, bạn cần phải nghĩ kỹ về một cách khác.

Therefore, I would argue that the mass must be proportional to d squared.

Do đó, tôi sẽ lập luận rằng khối lượng phải tỷ lệ với bình phương bán kính.

This is the breaking argument.

Đây là một điều xen vào.

Now compare these two.

Bây giờ so sánh hai cái này.

The mass is proportional to the length of the femur to the power three and to the thickness of the femur to the power two.

Khối lượng tỷ lệ với chiều dài của xương đùi lập phương và chiều dày của xương đùi bình phương.

Therefore, the thickness of the femur to the power two must be proportional to the length l and therefore the thickness of the femur must be proportional to l to the power three-halves.

Do đó, chiều dày của xương đùi bình phương phải tỷ lệ với chiều dài lập phương và do đó chiều dày của xương đùi phải

l v i l l y t h a $3/2$

A very interesting result.

M t k t q u r t t h ú v .

What is this result telling you? It tells you that if I have two animals and one is ten times larger than the other then S is ten times larger that the lengths of the legs are ten times larger but that the thickness of the femur is 30 times larger because it is l to the power three halves.

Nó cho b n b i t i u gì? Nó cho b n b i t r n g n u t ô i c ó h a i c o n v t v à c o n n à y l n g p 10 l n c o n k i a t h i c h â n c o n n à y p h i d à i h n c h â n c o n k i a 10 l n n h ã n g ã y c a x ã n g ù i p h i l n h n 30 l n b i v i n ó l à l m $3/2$

If I were to compare a mouse with an elephant an elephant is about a hundred times larger in size so the length of the femur of the elephant would be a hundred times larger than that of a mouse but the thickness of the femur would have to be 1,000 times larger.

N u t ô i s o s á n h m t c o n c h u t v i m t c o n v o i l n h n n ó k o ã n g 100 l n v k í c h t h t t h i d à i x ã n g ù i c a c o n v o i s l n h n 100 l n c o n c h u t n h ã n g ã y x ã n g ù i s p h i l n h n 1000 l n .

And that may have convinced Galileo Galilei that that's the reason why the largest animals are as large as they are.

V à c ó l i u ó t h u y t p h c G a l i l e o G a l i l e i ó l à l í d o t i s a o c o n v t l n n h t c h ã n m t m c ã n à o ó c h k h o n g t h h n t h c .

Because clearly, if you increase the mass there comes a time that the thickness of the bones is the same as the length of the bones.

B i v i r ò r à n g , n u b n t n g k h i l ã n g ã n m t l ú c n à o ó t h i ã y x ã n g ù i s b ã n g ã d à i .

You're all made of bones and that is biologically not feasible.

Nghĩa là bản đồ ra những xương và mô sinh học là không thể nổi.

And so there is a limit somewhere set by this scaling law.

Và vì vậy có một hạn chế thì tỷ lệ bất biến quy luật này.

Well, I wanted to bring this to a test.

Tôi muốn mang điều này ra kiểm tra.

After all I brought my grandmother's statement to a test so why not bring Galileo Galilei's statement to a test? And so I went to Harvard where they have a beautiful collection of femurs and I asked them for the femur of a raccoon and a horse.

Sau khi tôi mang tất cả những gì bà ngoại tôi nói ra kiểm tra vậy thì sao không mang câu nói của Galileo Galilei ra kiểm tra? Và vì vậy tôi đến Harvard đó họ có một bộ sưu tập các xương đùi người và tôi bỏ họ cho tôi xương đùi của gấu trúc và ngựa.

A raccoon is this big a horse is about four times bigger so the length of the femur of a horse must be about four times the length of the raccoon.

Một con ngựa dài hơn con gấu trúc 4 lần vì vậy dài xương đùi của con ngựa phải dài hơn 4 lần con gấu trúc.

Close.

Thật là xong.

So I was not surprised.

Vì vậy tôi không ngạc nhiên.

Then I measured the thickness, and I said to myself, "Aha!" If the length is four times higher then the thickness has to be eight times higher if this holds.

Sau đó tôi đo chiều dày xương đùi, và tôi tự nói với mình, "Aha!" Nếu dài hơn 4 lần thì chiều dày phải dài hơn 8 lần nếu quy luật này đúng.

And what I'm going to plot for you you will see that d is divided by l , versus l and that, of course, must be proportional to l to the power one-half.

Và những gì tôi sắp phát hiện cho bạn, b sẽ thay đổi trên l theo l tỷ lệ nghịch với l theo l mũ $1/2$.

I bring one l here.

Tôi mang một cái l xuống đây.

So, if I compare the horse and I compare the raccoon I would argue that the thickness divided by the length of the femur for the horse must be the square root of four, twice as much as that of the raccoon.

Vì vậy, nếu tôi so sánh con ngựa và tôi so sánh con gấu trúc tôi sẽ lý luận rằng chiều dày chia cho dài xương đùi của con ngựa phải là c nhân b chia cho a nhân t là s này l nhân p hai lần con gấu trúc.

And so I was very anxious to plot that, and I did that and I'll show you the result. Here is

my first result.

Và tôi rất lo lắng khi tính toán điều đó, và tôi đã làm điều đó và tôi sẽ cho bạn kết quả.

Đây là kết quả đầu tiên của tôi.

So we see there, d over l .

Vì vậy chúng ta có điều đó, d trên l

I explained to you why I prefer that.

Tôi sẽ gì thích vì bản thân tôi thích điều đó hơn

And here you see the length.

Và đây bạn nhìn thấy chi u dài
You see here the raccoon and you see the horse.
đây bạn thấy con g u trúc và con ngựa.

And if you look carefully, then the d over l for the horse is only about one and a half times larger than the raccoon.

Và nếu bạn quan sát cẩn thận thì tỉ số d trên l của con ngựa chỉ lớn hơn con g u trúc 1,5 lần.

Well, I wasn't too disappointed.
Oh, tôi không quá thất vọng.

One and a half is not two, but it is in the right direction.
1.5 chỉ không phải 2, nhưng nó là hướng đi đúng.

The horse clearly has a larger value for d over l than the raccoon.
Rõ ràng con ngựa có tỉ số d trên l lớn hơn con g u trúc.

I realized I needed more data, so I went back to Harvard.
Tôi nhận ra rằng tôi cần thêm dữ liệu, vì vậy tôi quay lại trường Harvard.

I said, "Look, I need a smaller animal, an opossum maybe maybe a rat, maybe a mouse," and they said, "okay." They gave me three more bones.

Tôi nói, "Oh, tôi cần một con vật nhỏ hơn, một loài thú có túi có thể là con b , có thể là chuột, " và họ nói "c" Họ cho tôi thêm ba cái xương nữa

They gave me an antelope which is actually a little larger than a raccoon and they gave me an opossum and they gave me a mouse.

Họ cho tôi xương cẩu linh dương, họ cho tôi xương gấu trúc, một chút và họ cho tôi một loài thú có túi và họ cho tôi chuột.

Here is the bone of the antelope.

Đây là xương cẩu linh dương.

Here is the one of the raccoon.

Đây là xương gấu trúc.

Here is the one of the opossum.

Đây là xương của một loài thú có túi.

And now you won't believe this.

Và bạn sẽ không tin vào này.

This is so wonderful, so romantic.

Chúng quá kì lạ, quá lãng mạn.

There is the mouse.

Có chuột

[students laugh]

Isn't that beautiful? Teeny, weeny little mouse? That's only a teeny, weeny little femur. And there it is.

Nó không phải là xương chuột nhỏ xíu sao? Đó chỉ là xương đùi chuột nhỏ xíu. Và nó ở đây.

And I made the plot.

Và tôi vẽ nó ra.

I was very curious what that plot would look like.

Tôi rất muốn tìm hiểu xem nó trông như thế nào.

And...

Và

here it is.

Nó ở đây rồi.

Whew! I was shocked.

Trời ơi! Tôi bị sốc.

I was really shocked.

Tôi thật sự bị sốc.

Because look—

B i vì nhìn này

the horse is 50 times larger in size than the mouse. The difference in d over l is only a factor of two.

Kích th ết con ng a l n h n con chu t 50 l n. S khác nhau c a t s d trên l ch là 2.

And I expected something more like a factor of seven.

V y mà tôi tiên oán là c 7

And so, in d over l , where I expect a factor of seven I only see a factor of two.

Và vì v y, trong d trên l , ch mà tôi mong i là 7 tôi ch th y h s 2.

So I said to myself, "Oh, my goodness. Why didn't I ask them for an elephant?" The real clincher would be the elephant because if that goes way off scale maybe we can still rescue the statement by Galileo Galilei and so I went back and they said "Okay, we'll give you the femur of an elephant."

Vì v y tôi t nói, "Oh, chúa i. T i sao tôi không b o h cho tôi m t con voi?" Lí l v ng ch c th c s s là con voi b i vì n u i u ó không úng thì có l chúng ta v n còn có th c u vãn cho phát bì u c a galilei và vì v y tôi quay tr l i và h b o " c, chúng tôi s cho ông x ng c a con voi."

They also gave me one of a moose, believe it or not.

H c ng cho tôi thêm x ng c a con nai s ng n a, tin hay không tùy b n.

I think they wanted to get rid of me by that time to be frank with you.

Tôi ngh h mu n tôi ng làm phi n h n a.

And here is the femur of an elephant.

Và ây tôi có x ng ùi c a con voi.

And I measured it.

Và tôi ã o nó.

The length and the thickness.

Chiều dài và độ dày.

And it is very heavy.

Và nó rất nặng.

It weighs a ton.

I plotted it, I was full of expectation.

Tôi suy nghĩ về nó, tôi tràn đầy hy vọng

I couldn't sleep all night.

Suốt đêm tôi không thể ngủ

And there's the elephant.

Và đó là một con voi

There is no evidence whatsoever that d over l is really larger for the elephant than for the mouse.

Không có bằng chứng nào cho thấy d trên l của con voi thực sự lớn hơn con chuột.

These vertical bars indicate my uncertainty in measurements of thickness and the horizontal scale, which is a logarithmic scale...

Trên trục chiều dài sai số trong phép đo chiều dài và trục chiều ngang là thang logarit

the uncertainty of the length measurements is in the thickness of the red pen so there's no need for me to indicate that any further.

Sai số trong phép đo chiều dài là độ dày của cây bút màu vì vậy không cần phải chỉ ra thêm.

And here you have your measurements in case you want to check them.

Và đây bạn có thể tra trong bảng để kiểm tra chúng.

And look again at the mouse and look at the elephant.

Hãy nhìn lại con chuột và nhìn lại con voi.

The mouse has indeed only one centimeter length of the femur and the elephant is, indeed, hundred times longer.

Con chuột chỉ có xương đùi dài khoảng 1 cm trong khi xương đùi của con voi dài hơn hàng trăm lần.

So the first scaling argument that S is proportional to l that is certainly what you would expect because an elephant is about a hundred times larger in size.

Vì vậy nếu S tỉ lệ thuận với l thì điều này là hợp lý vì con voi khoảng 100 lần lớn hơn về kích thước.

But when you go to d over l , you see it's all over.

Nhưng khi bạn nhìn vào d trên l , bạn sẽ thấy nó sai.

The d over l for the mouse is really not all that different from the elephant and you would have expected that number to be with the square root of 100 so you expect it to be ten times larger instead of about the same.

d trên l của con chuột thực sự không khác của con voi và có lẽ bạn sẽ mong đợi một số nào đó là $\sqrt{100}$ chứ không phải gì khác nhau.

I now want to discuss with you what we call in physics dimensional analysis.

Bây giờ tôi muốn thử phân tích thí nghiệm trong vật lý.

I want to ask myself the question: If I drop an apple from a certain height and I change that height what will happen with the time for the apple to fall? Well, I drop the apple from a height h and I want to know what happened with the time when it falls. And I change h .

Tôi nghĩ: Nếu tôi thả quả táo từ một chiều cao nào đó và tôi thay đổi chiều cao thì thời gian rơi của

quả táo sẽ thay đổi như thế nào? Oh, tôi thả quả táo từ chiều cao h và tôi muốn biết về thời gian rơi

của quả táo. Và tôi thay đổi h .

So I said to myself, "Well, the time that it takes must be proportional to the height to some power α ." Completely reasonable.

Vì vậy tôi nghĩ mình "Oh, thời gian rơi tỉ lệ với chiều cao mũ α nào đó." Hoàn toàn hợp lý.

If I make the height larger we all know that it takes longer for the apple to fall. That's a

safe thing.

Nếu chiều cao lớn hơn thì thời gian rơi của quả táo sẽ lâu hơn. Điều đó rõ ràng.

I said to myself, "Well, if the apple has a mass m " it probably is also proportional to the mass of that apple to the power β ." I said to myself, "Gee, yeah, if something is more massive it will probably take less time." So maybe m to some power β .

Tôi nghĩ về mình, "Oh, nếu quả táo có khối lượng m " thì thời gian rơi có thể tỉ lệ với khối lượng m mũ β nào đó." Tôi nghĩ, "Ồ, ah, nếu vật nào đó nặng hơn thì nó sẽ rơi nhanh hơn thôi." Vì vậy có lẽ là m mũ β nào đó.

I don't know α , I don't know β .

Tôi không biết α , tôi không biết β .

And then I said, "Gee, there's also something like gravity that is the Earth's gravitational pull--

the gravitational acceleration of the Earth." So let's introduce that, too and let's assume that that time is also proportional to the gravitational acceleration--

Và rồi tôi nói, " Ờ, có thể gì đó là trọng lực hút của trái đất—gia tốc trọng trường của trái đất."
Vì vậy chúng ta hãy đưa vào cái đó, và giờ sẽ nghĩ về gia tốc trọng trường--
this is an acceleration; we will learn a lot more about that-- to the

power gamma.

đây là gia tốc; chúng ta sẽ học về nó—m gamma.

Having said this, we can now do what's called in physics a dimensional analysis.

Nhưng nói tiếp, bây giờ chúng ta có thể làm những gì mà trong vật lý chúng ta gọi là phân tích thứ nguyên.

On the left we have a time and if we have a left...

phía trái chúng ta có thời gian và nếu chúng ta có phía trái.....

on the left side a time on the right side we must also have time.

về trái chúng ta có thời gian thì về phải chúng ta cũng phải có thời gian.

You cannot have coconuts on one side and oranges on the other.

Chúng ta không thể có quả dừa ở bên này và quả cam ở bên kia.

You cannot have seconds on one side and meters per second on the other.

Bên này không thể có giây ở bên này và mét trên giây ở bên kia.

So the dimensions left and right have to be the same.

Vì vậy thứ nguyên về phải và về trái phải giống nhau.

What is the dimension here? That is [T] to the power one.

đây là thứ nguyên là gì? Đó là [T] mũ một.

That T... that must be the same as length to the power alpha times mass to the power beta, times acceleration--

remember, it is still there on the blackboard—

Nó là T....cái đó phải giống như chiều dài mũ alpha nhân với khối lượng mũ beta nhân với gia tốc—

Nhưng, nó vẫn còn trên bảng --

that's dimension [L] divided by time squared and the whole thing to the power gamma so I have a gamma here and I have a gamma there.

Thứ nguyên của nó là [L] chia cho thời gian bình phương và toàn bộ thứ mũ gamma nhân với vậy tôi có gamma ở đây và tôi có gamma ở đó.

This side must have the same dimension as that side. That is

nonnegotiable in physics.

Về bên này phải có thứ nguyên giống như về bên kia. Đó là

điều quy luật không thể bỏ qua trong vật lý

Okay, there we go.

Right, đó chúng ta có.

There is no M here, there is only one M here so beta must be zero.
Không có M ở đây, chỉ có một M ở đây vì vậy beta phải bằng 0.

There is here [L] to the power alpha, [L] to the power gamma there is no [L] here. So [L] must disappear.

Ở đây có [L] mũ alpha, [L] mũ gamma ở đây không có [L]. Vì vậy [L] phải biến mất.

So alpha plus gamma must be zero.
Vì vậy alpha cộng với gamma phải bằng 0.

There is [T] to the power one here and there is here [T] to the power -2 gamma. It's minus because it's downstairs.

Ở đây có [T] mũ 1 và ở đây có [T] mũ -2 gamma. Nó là trừ vì nó ở dưới.

So one must be equal to -2 gamma.
Vì vậy nó phải bằng -2 gamma.

That means gamma must be minus one half.
Điều đó có nghĩa là gamma phải là trừ 1/2.

That if gamma is minus one half, then alpha equals plus one half.

Nếu gamma là trừ một phần hai thì alpha bằng cộng một phần hai.

End of my dimensional analysis.
Kết thúc phân tích th nguyên.

I therefore conclude that the time that it takes for an object to fall equals some constant, which I do not know but that constant has no dimension—
Do ó tôi kết luận rằng thời gian mà một vật rơi còn lại với những nào ó mà tôi chưa biết những gì ó là vô hướng.

I don't know what it is—
Tôi không biết nó là gì

times the square root of h divided by g.

thời gian tỉ lệ với căn bậc hai của h chia cho g
Beta is zero, there is no mass h to the power one half-- you see

that here—

Beta bằng 0, không có khối lượng hay thứ a^{1/2}--b n th y i u

ó ấy

and g to the power minus one half.
Và g lấy thứ a^{-1/2}

This is proportional to the square root of h because g is a given and c is a given even though I don't know c.

Đây tỉ lệ với căn bậc hai của h vì g và c là các hằng số cho dù tôi chưa biết c.

I make no pretense that I can predict how long it will take for the apple to fall.

Có vẻ như tôi không thể tiên đoán được thời gian rơi của quả táo.

All I'm saying is, I can compare two different heights.

Tất cả những gì tôi nói là, tôi có thể so sánh hai chiều cao khác nhau.

I can drop an apple from eight meters and another one from two meters and the one from eight meters will take two times longer than the one from two meters.

Tôi có thể thả quả táo từ 8m và quả khác từ 2 mét và quả từ 8m sẽ rơi mất 2 lần quả từ 2m.

The square root of h to two, four over two will take two times longer, right? If I drop one from eight meters and I drop another one from two meters then the difference in time will be the square root of the ratio.

Căn bậc hai của h chia 2, 4 chia 2 sẽ mất 2 lần lâu hơn, đúng không? Nếu tôi thả quả táo từ 8m và thả quả táo khác từ 2 mét thì sẽ khác nhau về thời gian là căn bậc hai của tỉ số này.

It will be twice as long.

Nó lâu hơn hai lần.

And that I want to bring to a test today. We have a setup here.

Và tôi muốn đem đi ó ra kiểm tra hôm nay. Chúng ta có một thí nghiệm ở đây

We have an apple there at a height of three meters and we know the length to an accuracy... the height of about three millimeters, no better.

ó chúng ta có một quả táo ở chiều cao 3m và chúng ta biết chiều cao chính xác đến khoảng 3 milimet, không thể chính xác hơn nữa.

And here we have a setup whereby the apple is about one and a half meters above the ground. And we know

that to about also an accuracy of no better than about three millimeters.

Và đây chúng ta có một hình thức trong đó quỹ đạo cách mặt đất khoảng 1.5 m. Và chúng ta cũng biết chính xác
n 3 milimet chỉ không thể tốt hơn được.

So, let's set it up.

Vì vậy, hãy thiết lập nó

I have here...

something that's going to be a prediction—

đây tôi có thể gọi đó là tiên đoán --

a prediction of the time that it takes for one apple to fall divided by the time that it takes for the other
apple to fall.

Tiên đoán về thời gian một quả táo rơi chia cho thời gian mà quả táo khác rơi.

Here one is three meters but I claim there is an uncertainty of about three millimeters. Can't do

any better.

Here một bên 3 m nhưng đó tôi xác định rằng sai số của phép đo khoảng 3 milimet. Không thể

chính xác hơn được.

And h 2 equals 1.5 meters again with an uncertainty of about three millimeters.
Và h hai bằng 1.5 m và cũng có sai số khoảng ba milimet.

So the ratio h one over h two...

is 2.000 and now I have to come up with an uncertainty which physicists sometimes call an error
in their measurements but it's really an uncertainty.

Vì vậy tỷ số h một trên h hai.....là 2.000 và bây giờ tôi phải tìm sai số

And the way you find your uncertainty is that you add the three here and you subtract the three here and
you get the largest value possible.

Và cách bạn tìm sai số của bạn là cái bạn cộng 3 này và bạn trừ 3 này và bạn nhận được giá trị lớn nhất
có thể có.

You can never get a larger value. And

you'll find that you get 2.006.

Có thể bạn không bao giờ nhận được giá trị lớn hơn. Và bạn sẽ nhận thấy rằng bạn tìm được 2.006

And so I would say the uncertainty is then .006.

Và do đó tôi sẽ nói sai số là .006.

This is a dimensionless number because it's length divided by length.

Này là số vô hướng bởi vì nó là dài chia cho dài.

And so the time t1 divided by t2 would be the square root of h1 divided by h2. That is

the dimensional analysis argument that we have there.

Và vì vậy thì tỷ lệ thời gian t1 chia cho thời gian t2 là căn bậc hai của h1 chia cho h2. Đó là một

phân tích thứ nguyên mà chúng ta có đó.

And we find if we take the square root of this number we find 1.414, plus or minus 0.0 and I think that is a
two.

Và chúng ta nhận thấy nếu chúng ta lấy căn bậc hai của số này thì chúng ta tìm được 1.414, cộng hoặc trừ 0.0
và tôi nghĩ rằng đó là hai.

That is correct.

Chính xác

So here is a firm prediction.

Vì vậy đây là một tiên đoán chắc chắn

This is a prediction.

Này là một tiên đoán.

And now we're going to make an observation.

Và bây giờ chúng ta sẽ thực hiện một thí nghiệm.

So we're going to measure t1 and there's going to be a number and then we're going to measure
t2 and there's going to be a number.

Chúng ta sẽ đo t1 và nhận được một số và sau đó đo t2 và nhận được một số.

I have done this experiment ten times and the numbers always reproduce within about one millisecond.

Tôi đã làm thí nghiệm này 10 lần và kết quả luôn luôn lặp lại chính xác trong khoảng một mili giây

So I could just adopt an uncertainty of one millisecond.
Vì vậy tôi chỉ có thể chấp nhận sai số một mili giây.

I want to be a little bit on the safe side.

Tôi muốn thêm một chút cho an toàn

Occasionally it differs by two milliseconds.

Thỉnh thoảng nó khác 2 mili giây

So let us be conservative and let's assume that I can measure this to an accuracy of about two milliseconds.

That is pretty safe.

Vì vậy hãy quan sát và hãy giả sử rằng tôi có thể đo cái này chính xác khoảng 2 mili giây. Điều đó rất an toàn.

So now we can measure these times and then we can take the ratio and then we can see whether we actually confirm that the time that it takes is proportional to the height to the square root of the height.

Vì vậy, bây giờ chúng ta có thể đo khoảng thời gian này và sau đó lập tỉ lệ và sau đó chúng ta biết tỉ lệ thời gian có tỉ lệ với căn bậc hai của chiều cao hay không.

So I will make it a little more comfortable for you in the lecture hall.

Vì vậy tôi sẽ thử nhìn nó hơi thoải mái hơn trong giảng đường.

That's all right.
Ây r i

We have the setup here.
Chúng ta có m t h th ng ây

We first do the experiment with the... three meters. There
you see the three meters.

u tiên, chúng ta làm thí nghi m v i 3m. ó b n th y
ba mét

And the time... the moment that I pull this string the apple will fall, the contact will open, the clock will start.

Và ngay lúc tôi y lò xo này qu táo s r i, ti p xúc s m , ng h s b t u
The moment that it hits the floor, the time will stop.
Lúc qu bóng ch m sàn nhà, th i gian s d ng.
I have to stand on that side.
Tôi ph i ng phía ó.

Otherwise the apple will fall on my hand.

B ng không, qu táo s r i trên tay tôi.

That's not the idea.

ó không ph i là ý t ng.
I'll stand here.
Tôi ng ây

#VALUE!
You ready? Okay, then I'm ready.
B n s n sàng ch a? R i, tôi s n sàng

Everything set? Make sure that I've zeroed that properly. Yes, I
have.

M i th ã c thi t l p? Hãy ch c ch n r ng tôi ã zero h
th ng. Vâng

Okay.

Three, two, one, zero.
Ba, hai, m t, 0

781 milliseconds.

So this number...
you should write it down because you will need it for your second assignment.
V i v y s này.....
B n nên v i t s này ra b i vì b n s c n nó cho nhi m v th hai c a b n

781 milliseconds, with an uncertainty of two milliseconds.
781 mili giây v i sai s là 2 mili giây

You ready for the second one? You ready? You ready? Okay, nothing wrong. Ready.

B n ã s n sàng cho thi nghi m th hai? S n sàng ch a? R i ch a? Vâng, không có gì sai.

S n sàng.

Zero, zero, right? Thank you.

0, 0, úng không? Cám n

Okay.

Three, two, one, zero.

551 milliseconds.

Boy, I'm nervous because I hope that physics works.

Ồi các b n, tôi c ng th ng b i vì tôi hy v ng vào công trình v t lí ó.

So I take my calculator and I'm now going to take the ratio t_1 over t_2 .

Vì v y tôi l y máy tính c a tôi và tôi s tính t s t_1 trên t_2

The uncertainty you can find by adding the two here and subtracting the two there and that will then give you an uncertainty of, I think, .0... mmm, .08.

Sai s b n có th tìm b ng cách c ng hai cái ây và tr hai cái ó và s cho b n sai s , tôi ngh là 0.....mm, .08.

Yeah, .08.

You should do that for yourself—

B n nên t làm i u ó.

.008.

Dimensionless number.

S vô h ng

This would be the uncertainty.

ây s là sai s

This is the observation.

ây s là th c nghi m

781 divided by 551.

781 chia cho 551

One point...

M t ch m

Let me do that once more.

Hãy tôi làm i u ó m t l n n a

Seven eight one, divided by five five one... One

four one seven.

781 chia cho 551.....1417

Perfect agreement.

Hoàn toàn phù h p

Look, the prediction says 1.414 but it could be 1 point...

it could be two higher.

Nhìn này, tiên oán nói là 1.414 nh ng nó có th là 1 ch m

Có th l n h n 2

That's the uncertainty in my height.

ó là sai s trong cao c a tôi

I don't know any better.

Tôi không bi t gì n a

And here I could even be off by an eight because that's the uncertainty in my timing. So these

two measurements confirm.

Và đây tôi có thể chắc chắn vì sai số trong cách nhúng thời gian của tôi. Vì vậy hai phép đo này xác nhận.
They are in agreement with each other.

Chúng phù hợp nhau.

You see, uncertainties in measurements are essential. Now

look at our results.

Bạn thấy đó, sai số trong phép đo là cần thiết. Bây giờ hãy nhìn

kết quả của chúng ta.

We have here a result which is striking.

Đây chúng ta có một kết quả rất đáng

We have demonstrated that the time that it takes for an object to fall is independent of its mass. That is an amazing accomplishment.

Chúng ta đã chứng minh rằng thời gian rơi của quả táo không phụ thuộc vào khối lượng của nó. Đó là một thành tựu đáng mừng.

Our great-grandfathers must have worried about this and argued about this for more than 300 years.

Ông cha chúng ta phỉ bần khôn vùi u này và tranh cãi vớ vẩn 300 năm.

Were they so dumb to overlook this simple dimensional analysis? Inconceivable.

Chúng ta lờn quên nhìn phép phân tích thặng nguyên n giờ này phỉ không? Th t kì l

Is this dimensional analysis perhaps not quite kosher? Maybe.

Phép phân tích thặng nguyên này có lờn không hoàn toàn chính quy phỉ không? Có lờn v y

Is this dimensional analysis perhaps one that could have been done differently? Yeah, oh, yeah. You could have done it very differently.

Phép phân tích thặng nguyên này có thể thể hiện theo kiểu khác? Vâng, oh, vâng. Bạn có thể thể hiện theo những cách r t khác nhau

You could have said the following.

Bạn có thể nói như sau

You could have said, "The time for an apple to fall is proportional to the height that it falls from to a power alpha." Very reasonable.

Bạn có thể nói, "Thời gian qu tảo r i t l v i cao l y th a alpha." R t h p lí

We all know, the higher it is, the more it will take-- the

more time it will take.

T t c chúng ta u bị t, nó càng cao thì gian r i càng lâu

And we could have said, "Yeah, it's probably proportional to the mass somehow. If the mass is more, it will take a little bit less time." Turns out to be not so, but you could think that.

Và chúng ta có thể nói, "Ah, thì gian r i có t l v i kh i l ãng m t ít. N u kh i l ãng càng t ãng, v t s r i càng nhanh" Hóa ra nó không nh v y, nh ãng b n có thể ã ãnh nh v y.

But you could have said "Well, let's not take the acceleration of the Earth but let's take the mass of the Earth itself." Very reasonable, right? I would think if I increased the mass of the Earth that the apple will fall faster.

Nh ãng b n có thể nói " Oh, chúng ta ãng l y gia t c c a trái t m à hã ãng l y kh i l ãng c a Trái t" R t h p lí, ãng không? Tôi s ãng n u tôi t ãng kh i l ãng c a Trái t thì qu tảo s r i nhanh h n.

So now I will put in the math of the Earth here.

Vì v y bây giờ tôi s t kí h i u kh i l ãng c a Trái t ãy.

And I start my dimensional analysis and I end up dead in the waters. Because,

you see, there is no mass here.

Và tôi b t u phân tích thặng nguyên và tôi s ã l y ngay. B i vì nh b n th y

không có kh i l ãng ãy.

There is a mass to the power beta here and one to the power gamma so what you would have found is beta plus gamma equals zero and that would be end of story.

Có kh i l ãng l y th a beta ãy và m t cái l y th a gamma vì v y b n s th y beta c ãng v i gamma b ãng 0 và i u ó s k t thức câu chuy n

Now you can ask yourself the question well, is there something wrong with the analysis that we did? Is ours perhaps better than this one? Well, it's a different one.

Bây giờ, bạn có thể hỏi câu hỏi này, có gì ó không nh v i phép phân tích mà chúng ta thể hiện không? Cái c a chúng ta có l t th n cái này không? Oh, nó là m t cái khác

We came to the conclusion that the time that it takes for the apple to fall is independent of the mass.

Chúng ta i n k t l u n r ng th i gian r i c a qu t áo không ph thu c vào kh i l ng.
Do we believe that? Yes, we do.
Chúng ta có tin i u có không? Vâng, chúng ta tin

On the other hand, there are very prestigious physicists who even nowadays do very fancy experiments and they try to demonstrate that the time for an apple to fall does depend on its mass even though it probably is only very small, if it's true but they try to prove that.

Ng c l i, có nh ng nhà v t lí r t uy tín cho n ngày nay làm nh ng thí nghi m r t t ng t ng và h c g ng ch ng minh th i gian r i c a qu t áo ph thu c vào kh i l ng c a nó cho dù có l ch là r t nh

And if any of them succeeds or any one of you succeeds that's certainly worth a Nobel Prize. So we do believe that it's independent of the mass.

Và n u b t c ai trong s h ho c b t c ai trong s các b n thành công thì t t nhiên i u ó áng nh n gi i Nobel. Vì v y, chúng ta hãy tin là nó không ph thu c vào kh i l ng.

However, this, what I did with you, was not a proof because if you do it this way, you get stuck.

Tuy nhiên, i u này, nh ng gì tôi ã làm cho các b n, không ph i là m t ch ng minh b i vì n u b n làm nó theo cách này, b n s g p khó kh n

On the other hand, I'm quite pleased with the fact that we found that the time is proportional with the square root of h.

Nó cách khác, tôi hoàn toàn thỏa mãn v i vi c chúng ta tìm ra c th i gian t l v i c n b c hai c a h
I think that's very useful.

Tôi nghĩ iu ó r t h u d ng.

We confirmed that with experiment and indeed it came out that way.

Chúng ta xác nh n iu ó b ng th c nghi m và nó ã l ra theo cách ó.

So it was not a complete waste of time.

Vì v y không hoàn toàn lãng phi th i gian.

But when you do a dimensional analysis, you better be careful.

Nh ng khi b n th c hi n phân tích th nguyên, t t h n b n nên c n th n

I'd like you to think this over, the comparison between the two at dinner and maybe at breakfast and maybe even while you are taking a shower whether it's needed or not.

Tôi mu n các b n ngh thêm v iu này, so sánh gi a hai cái vào bu i t i và có th vào bu i sáng va th m chí có th là trong khi b n ang t m xem nó có c n hay không.

It is important that you digest and appreciate the difference between these two approaches.

Suy ngh k càng và ánh giá úng s khác nhau gi a hai cách ti p c n này r t quan tr ng.

It will give you an insight in the power and also into the limitations of dimensional analysis. This goes

to the very heart of our understanding and appreciation of physics.

Nó s cho b n hi u th u áo s c m nh và h n ch c a phân tích th nguyên. iu này a b n n

tr ng tâm c a nh ng hi u bi t và nh n th c v t lí.

It's important that you get a feel for this.

B n c m nh n c iu này r t quan tr ng.

You're now at MIT.

This is the time.

Thank you.

See you Friday.