



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 vị trí công nghệ Massachusetts > vật lý > cơ học cổ điển > chương V.

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>

Today we will discuss what we call "uniform circular motion." What is uniform circular motion? An object goes around in a circle, has radius r and the object is here.

Hôm nay chúng ta sẽ thảo luận một loại chuyển động cụ thể là chuyển động tròn đều. Chuyển động tròn đều là gì? Một vật thể chuyển động theo một đường tròn, có bán kính r và vật ở đây.
This is the velocity.
Đây là vận tốc.

It's a vector, perpendicular.
Nó là vectơ, vuông góc.

And later in time when the object is here the velocity has changed, but the speed has not changed.

Và tại các thời điểm sau đó khi vật ở đây vận tốc đã thay đổi, nhưng tốc độ không thay đổi.
We introduce T , what we call the period—

Chúng ta gọi T là chu kỳ --

of course it's in seconds—

T tự nhiên đơn vị là giây

which is the time to go around once.

Nó là thời gian đi hết một vòng tròn.

We introduce the frequency, f , which we call the frequency which is the number of rotations per second.

Chúng ta gọi tần số là f , tần số là số vòng tròn mà vật đi được trong một giây.

And so the units are either seconds minus one

Và vì vận tốc của nó hoặc là giây mũ -1

or, as most physicists will call it, "hertz" and so frequency is one divided by T .

Hoặc, như các nhà vật lý thường gọi, "hertz" và vì vận tốc là 1 chia T .

We also introduce angular velocity, ω which we call angular velocity.

Chúng ta gọi vận tốc góc là ω .

Angular velocity means not how many meters per second

Vận tốc góc không có ý nghĩa là bao nhiêu mét trên giây.

but how many radians per second.

Mà là bao nhiêu radian trên giây.

So since there are two pi radians in one circumference—

in one full circle—

bởi vì một vòng tròn bằng với 2π radian --

and it takes T seconds to go around once it is immediately obvious that ω equals two pi divided by T .

và vì một vòng tròn bằng với 2π radian nên chúng ta suy ra ngay $\omega = 2\pi$ chia T .

This is something that I would like you to remember.

Tôi muốn các bạn nhớ công thức này.

Omega equals two pi divided by T—

Omega bằng 2 pi chia T - -

two pi radians in capital T seconds.

2 pi radian trong T giây.

The speed, v , is, of course, the circumference two pi r divided by the time to go around once but since two pi divided by T is omega you can also write for this "omega r ." And this is also something that I want you to remember.

Tất nhiên, v chính là v , bằng chu vi vòng tròn là $2\pi r$ chia cho thời gian đi hết một vòng nên bằng vì 2π chia T là omega nên bạn cũng có thể viết cái này bằng omega r . Và tôi cũng muốn các bạn nhớ công thức này.

These two things you really want to remember.

Hai công thức này các bạn thật sự cần phải nhớ.

The speed is not changing, but the velocity vector is changing.

Tốc độ không thay đổi, nhưng vectơ vận tốc thay đổi.

Therefore there must be an acceleration.
Do đó phải có gia tốc.

That is non-negotiable.
Điều này không thể tránh khỏi.

You can derive what that acceleration must be in terms of magnitude and in terms of direction.

But you can't just pull it out of your hat and say it's that simple.

It's about a five, six minutes derivation.

It takes about 5, 6 minutes to do it.

You'll find it in your book.
Điều này có trong sách của bạn.

I have decided to give you the results so that you read up on the book so that we can more talk about the physics rather than on the derivation.
Tôi đã quyết định đưa ra kết quả để bạn đọc sách để chúng ta có thể nói về vật lý nhiều hơn là về sự dẫn xuất.

This acceleration that is necessary to make the change in the velocity vector is always pointing towards the center of the circle.
Gia tốc này cần thiết để thay đổi vectơ vận tốc luôn luôn hướng vào tâm vòng tròn.

We call it "centripetal acceleration." Centripetal, pointing towards the center.

Chúng ta gọi nó là gia tốc hướng tâm. Hướng tâm nghĩa là chỉ về phía tâm.

And here, also pointing towards the center.

And here, also pointing towards the center.

It's a vector.

Nó là một vectơ.

And the magnitude of the centripetal acceleration equals v^2 divided by r , which is this v and therefore it's also $\omega^2 r$.

Và độ lớn của gia tốc hướng tâm bằng vận tốc bình chia r , nó là v này và do đó nó cũng bằng ω bình nhân r .

And so now we have three equations and those are the only three you really would like to remember.

Và vì vậy bây giờ chúng ta có 3 phương trình và đây là những phương trình các bạn cần nhớ.

We can have a simple example.

Chúng ta có thể lấy một ví dụ đơn giản.

Let's have a vacuum cleaner, which has a rotor inside which scoops the air out or in, whichever way you look at it.

Chúng ta có một máy hút bụi, nó có một rôto bên trong lấy không khí ra ngoài hoặc hút vào trong, tùy theo bạn nhìn nó theo cách nào.

And let's assume that the vacuum cleaner these scoops have a radius r of about ten centimeters and that it goes around 600 revolutions per minute, 600 rpm.

Và hãy giả sử rằng những cánh quạt của rôto có bán kính r khoảng 10 cm và quay 600 vòng trên phút, 600 rpm

600 rpm would translate into a frequency, f , of 10 Hz so it would translate into a period going around in one-tenth of a second.

Hãy chuyển 600 vòng trên phút sang tần số, f, bằng 10 Hz vì vậy chuyển sang chu kỳ thì bằng 0.1 giây.

So omega, angular velocity, which is two pi divided by T is then approximately 63 radians per second and the speed, v, equals omega r is then roughly 6.3 meters per second.

Vậy vận tốc góc omega bằng $2\pi/T$ là 63 radian trên giây và tốc độ, v, bằng omega r khoảng 6.3 m/s.

The centripetal acceleration—

Gia tốc hướng tâm - -

and that's really my goal—

và đó chính là mục tiêu của tôi - -

the centripetal acceleration would be omega squared r or if you prefer, you can take v squared over r.

Gia tốc hướng tâm sẽ là omega bình r hoặc v bình trên r.

You will get the same answer, of course, and you will find that that is about 400 meters per second squared.

Tất nhiên, bạn sẽ nhận được cùng kết quả và bạn sẽ tìm ra rằng nó khoảng 400 m/s bình phương

And that is huge.

Và đó là giá trị rất lớn.

That is 40 times the acceleration due to gravity.

Giá trị đó lớn gấp 40 lần gia tốc trọng trường.

It's a phenomenal acceleration, the simple vacuum cleaner.
Nó là gia tốc hướng tâm của máy hút bụi đơn giản.
Notice that the acceleration, the centripetal acceleration is linear in r .

Chú ý rằng gia tốc, gia tốc hướng tâm là tuyến tính theo r .

Don't think that it is inversely proportional with r .

Đừng nghĩ nó tỉ lệ nghịch với r .

That's a mistake, because v itself is a function of r .
Điều đó không đúng, vì bản thân v là hàm theo r .
If you were sitting here then your velocity would be lower.

Nếu bạn ngồi đây thì vận tốc của bạn sẽ thấp hơn.

Since ω is the same for the entire motion you really have to look at this equation and you see that the centripetal acceleration is proportional with r .

Vì ω là không đổi vì vì toàn bộ chuyển động bạn thấy thì phần hình học trong trình bày này và bản thân r gia tốc hướng tâm tỉ lệ với r .

Therefore, if you were...

Do đó, nếu bạn...

if this were a disc which was rotating and you were at the center of the disc the centripetal acceleration would be zero.

Nếu đây là một cái đĩa đang quay và bạn ở tâm của đĩa gia tốc hướng tâm sẽ bằng 0.

And as you were to walk out, further out, it would increase.

Và khi bạn đi ra ngoài xa tâm, gia tốc hướng tâm sẽ tăng.

Now, the acceleration must be caused by something.

Bây giờ, gia tốc phải được gây ra do cái gì đó.

There is no such thing as a free lunch.

Không có bữa trưa nào miễn phí cả.

There is something that must be responsible for the change in this velocity and that something I will call either a pull or I will call it a push.

Phải có thứ gì đó đóng vai trò thay đổi vận tốc này và cái mà tôi sẽ gọi là kéo hoặc đẩy.

In our next lecture, when we deal with Newton's laws we will introduce the word "force." Today we will only deal with the words "pull" and "push." So there must be a pull or a push.

Trong chương tiếp theo, khi chúng ta khám phá các định luật Newton chúng ta sẽ đi vào khái niệm lực. Hôm nay chúng ta chỉ xét khái niệm kéo và đẩy. Vì vậy phải có một thứ gì đó kéo.

Imagine that this is a turntable and you are sitting here on the turntable on a chair.

Hãy tưởng tượng đây là cái bàn quay và bạn đang ngồi trên một cái ghế trên bàn quay.

It's going around with angular velocity ω and your distance to the center, let's say, is little r .

Nó sẽ quay tròn với vận tốc góc ω và khoảng cách của bạn so với tâm, giả sử là r .

You're sitting on this chair and you must experience—

Bạn đang ngồi trên ghế này và bạn phải chịu—

that is non-negotiable—

điều đó không thể tránh khỏi—

centripetal acceleration A of c , which is ω squared times r .

Gia tốc hướng tâm a_c là ω^2 nhân r .

Where do you get it from?

B n nh n c nó t âu?

Well, if your seat is bolted to the turntable then you will feel a push in your back so you're sitting on this thing, you're going around and you will feel that the seat is pushing you in your back and so you feel a push, and that gives the push out.

, n u ch ng i c a b n c g n ch t trên bàn quay thì b n s c m th y m t s y l ng b n vì v y b n ang ng i trên cái này, b n ang quay tròn và b n s c m th y r ng ch ng i ang y b n phía l ng và vì v y b n c m th y m t s y, và cái ó y b n ra ngoài.

Yeah, I can give this a red color for now.

Vâng, bây gi , tôi có th cho cái này màu

.

So you feel a push in your back.

Vì v y b n c m th y m t s y t l ng b n.

That push, apparently, is necessary for the acceleration.

Hình nh s y ó là c n cho gia t c.

Alternatively, suppose you had in front of you a stick.

Gi s b n có tr c m t m t cây g y.

You're not sitting on a chair.

B n không ng i trên gh .

You don't get a push from your back.

B n không b y t phía l ng.

But you hold onto the stick and now you can go around by holding onto the stick.

Nhưng bây giờ bạn cầm que và bây giờ bạn có thể đi vòng tròn bằng cách cầm que.
Now the stick is pulling on you in this same direction.
Bây giờ, cây gậy đang kéo bạn về cùng hướng này.

So now you would say, aha, someone is pulling on you.

Vì vậy bây giờ bạn sẽ nói, a, ai đó đang kéo bạn.

Whether it is the pull or whether it is the push one of... either one of the two is necessary for you to go around in that circle on that turntable with that constant speed.

Cho dù nó là đẩy hay kéo một trong những hướng của hai cái trục thì tất cả cho bạn đi vòng tròn trong vòng tròn đó trên bàn quay với tốc độ không đổi.

Now, the classic question comes up, which we often ask to people who have no scientific background.

Bây giờ, trong một câu hỏi cũ, câu này chúng ta thường hỏi những người không có kiến thức khoa học.

If you were to go around like this and something is either pushing on you or is pulling on you to make this possible suppose you took that push out, all of a sudden.

Nếu bạn đi vòng tròn gì đó như thế này và thế gì đó đẩy bạn hoặc kéo bạn, giờ sẽ không còn gì ngoài, bắt đầu.

The pull is gone.

Sẽ không còn nữa.

[makes whooshing sound]

What is now the motion of the person who is sitting on the turntable? And many non-scientists say, "Well, it will do like this." That's sort of what your intuition says.

Bây giờ, chuyển động của người đang ngồi trên bàn quay là gì? Và những người không có kiến thức khoa học nói, "Oh, nó sẽ chuyển động gì đó như thế này." Đó là phần nào mà trực giác của bạn nói.

You go around in a circle, and all of a sudden you no longer have the pull or the push and you go around in a spiral and obviously, that is not the case.

Bạn chuyển động theo một vòng tròn, và thỉnh thoảng bạn không còn sự đẩy hoặc kéo nữa và bạn chuyển động theo quỹ đạo xoắn ốc và hiển nhiên, điều đó không đúng.

What will happen is, if you have, at this moment in time a velocity in this direction and you take the pull or the push out you will start flying off in that direction and depending upon whether there is gravity or no gravity there may be a change, but if this were...

Điều gì xảy ra, nếu tại thời điểm này bạn có vận tốc theo hướng này và bạn bắt đầu kéo hoặc đẩy ra ngoài, bạn sẽ bắt đầu bay đi theo hướng đó và phần thu vào có hay không có trọng lực có thể có một sự thay đổi, nhưng nếu không thì... là.....

if there were no gravity you would just continue to go along that line and you would not make this crazy spiral motion.

Nếu không có trọng lực bạn sẽ tiếp tục đi theo hướng thẳng đó và bạn sẽ không chuyển động theo quỹ đạo xoắn ốc như bây giờ.

I have here a disc, which we will rotate and at the end...

Đây tôi có cái đĩa, chúng ta sẽ quay và cuối.....

the edge of the disc here we have a little ball.

ngoài rìa này chúng ta có một quả bóng nhỏ.

And the ball is attached to that disc with string.

Và quả bóng gắn với cái đĩa bằng một lò xo.

So now this is vertical, and so this is going to go around with angular velocity omega.

Vì vậy bây giờ đây là thẳng đứng, và vận tốc góc này sẽ quay tròn với vận tốc góc omega.

And we have a string here and the string is attached to this ball and the whole thing is going around and so at one moment in time this has a velocity, like so.

Và chúng ta có lò xo này và lò xo gắn với quả bóng này và toàn bộ lò xo sẽ quay tròn và vì vậy thì dĩ nhiên cái này có vận tốc, gia tốc hướng tâm.

And therefore there must be non-negotiable centripetal acceleration which in magnitude is $\omega^2 r$ or, if you want to, v^2 divided by r .

Và do đó phải có một gia tốc hướng tâm vì thế là ω bình phương nhân r hoặc là v bình phương chia r .

Now I cut it and that's like taking away the push and the pull.

Bây giờ tôi cắt nó và dĩ nhiên gia tốc hướng tâm là lực kéo.

The string that you have here is providing the pull on this ball.

Lò xo này cung cấp lực kéo cho quả bóng này.

This ball is feeling a pull from the string and that provides it with the centripetal acceleration.

Quả bóng này đang cảm thấy lực kéo từ lò xo và sẽ kéo nó cung cấp cho nó một gia tốc hướng tâm.

Cut the string and the pull is gone and the object will take off.

Cắt lò xo thì lực kéo không còn nữa và vật sẽ bay ra ngoài.

And if there were gravity here, as there is in 26.100 it would become a parabola and it would end up here.

Và trong trường hợp này có trọng lực, khi cái ó trong 26.100 nó sẽ trở thành một parabol và nó sẽ kết thúc tại đây.

If, however, I cut the ball exactly when it is here—

Tuy nhiên, nếu tôi cắt quả bóng khi nó đang ở đây

not the ball, but I cut the string—

Không phải quả bóng, mà tôi cắt lò xo --

then, of course, it would fly straight up gravity would act on it, it would come to a halt and it would come back.

Thì tất nhiên, nó sẽ bay thẳng lên trọng lực sẽ tác động trên nó, nó sẽ dừng lại ở một độ cao nhất và sẽ quay lại.

So it really would then go along a straight line.

Vì vậy sau đó nó sẽ cứ đi thẳng theo đường thẳng.

But you would clearly see, then that it's not going to do what many people think—

Nhưng rõ ràng bạn thấy, sau đó nó sẽ không chuyển động gì như những gì ta nghĩ --

that it would start to swirl around.

Nó sẽ bắt đầu xoáy tròn.

It would just go...

Nó sẽ chỉ

[makes whooshing sound]

and comes back.

Và trở lại.

Let's look at that.

Chúng ta hãy nhìn cái ó.

We have that here.

Chúng ta có cái ó ở đây

So here is that ball.

Đây là quả bóng ó

The string is behind here; you cannot see the string.

Đây là lò xo phía sau; bạn không thể thấy lò xo.

I will rotate it, wait for it to pick up a little speed and the knife, that you can't see either, is behind here and when I push the knife in, I do it exactly here.

Tôi sẽ quay nó, chờ nó thu được một chút vận tốc và con dao mà bạn không thể thấy phía sau đây và khi tôi đẩy con dao, tôi làm nó ngay tại đây.

It cuts the string and it goes up.

Nó cắt lò xo và nó đi lên.

You ready for this? You sure you're ready? Three, two, one, zero.

Bạn sẵn sàng cho tôi đây chưa? Bạn chắc chắn bạn đã sẵn sàng? Ba, hai, một, không

Wow! That was very high.

Wow! rất cao.

So you see, it's nothing like this.

Vì vậy bạn thấy, nó không giống như thế này.

It simply continued on in the direction that it was going.

Nó chỉ tiếp tục theo hướng mà nó đã đi.

It wasn't going into a parabola because I was shooting it straight up.

Nó không chuyển động theo parabol vì tôi bắn nó thẳng lên.

The string forms the connection between the rotating disc and the ball and therefore, the pull is responsible for the centripetal acceleration.

Lò xo hình thành sự kết nối giữa đĩa xoay và quả bóng và do đó, sự kéo gây ra gia tốc hướng tâm.

Let's now think about planets.

Bây giờ hãy nghĩ về những hành tinh.

Planets go around the sun.

Những hành tinh quay xung quanh mặt trời.

There's no string, so who is pushing? Who is pulling? Well, it's clear that it must be gravity.

Không có lò xo, vậy ai đẩy? Ai kéo? Ồ, rõ ràng đó phải là lực hấp dẫn.

It must be the sun that is pulling on the planets.

Nó phải là mặt trời đang kéo các hành tinh.

Now, I realize that the orbits of planets are not nicely circular so it's not really a uniform circular motion.

Bây giờ, tôi nhận ra rằng quỹ đạo của các hành tinh không phải là các vòng tròn vì vậy thực sự nó không phải là chuyển động tròn đều.

We will deal with orbits in great detail in a few weeks—

Chúng ta sẽ nghiên cứu chi tiết về các quỹ đạo này trong vài tuần nữa.

circular orbits and elliptical orbits.

Các quỹ đạo tròn và quỹ đạo elip.

Let us just assume for simplicity now that the orbits are roughly circular just to get a little bit of feeling for it.

Bây giờ, cho tôi giả định rằng quỹ đạo gần tròn chúng ta nhận cảm thấy cảm nhận về nó.

And you can look up now in your book—

Và bây giờ bạn có thể tìm trong sách của bạn --

which I did for you—

cái mà tôi đã làm cho bạn --

even in your preliminary version you can look up what the mean distance of the planets is to the sun and you can look up what the period is the time to go around the sun.

Thậm chí trong phiên bản sơ bộ bạn có thể tìm khoảng cách trung bình giữa các hành tinh đến mặt trời và bạn có thể tìm chu kỳ, tức là gì thì thời gian đi một vòng quanh mặt trời.

The time to go around the sun is not the same for all planets.

Thời gian đi một vòng quanh mặt trời không giống nhau đi với tất cả các hành tinh.

The planets are not attached to a turntable.

Các hành tinh không gắn trên các bàn quay.

Anywhere, any person on a turntable would go around in the same amount of time.

Bất cứ đâu, bất cứ vị trí nào trên bàn quay cũng sẽ chuyển động hết một vòng tròn

vì cùng một khoảng thời gian.

We know that that's not true for planets.

Chúng ta biết rằng điều đó không đúng cho các hành tinh.

It takes the Earth a year to go around the sun.

Trái đất quay quanh mặt trời mất một năm.

It takes Jupiter 12 years to go around so don't make the mistake to think that omega is the same for all planets.

Sao Mộc đi quanh mặt trời mất 12 năm vì vậy đừng nghĩ rằng omega là giống nhau đi với tất cả các hành tinh.

That's not true.

Điều đó không đúng.

So I look up the distance--

Vì vậy tôi tìm khoảng cách --

the mean distance to these various planets—

Khoảng cách trung bình của những hành tinh khác nhau này.

and you see that here in millions of kilometers.

Và bạn sẽ thấy đây là triệu kilomet.

Notice that Mercury is about 100 times closer than Pluto.

Sao thủy tinh gần Mặt trời hơn 100 lần so với sao Diêm Vương.

By the way, this is on the Web, so don't copy this.

Mọi cái này trên Internet, vì vậy đừng vi phạm.

You will find this on the 801 home page.

Bạn sẽ tìm thấy cái này trên trang chủ 801.

Then I looked up how many years it takes to go around the sun—

Sau đó tôi tìm xem nó đi một vòng quanh mặt trời mất bao nhiêu năm --

12 years for Jupiter, one year for the Earth—

12 năm đi vòng quanh sao Mộc, một năm cho Trái Đất --

and I looked up all the other values.

Và tôi tìm tất cả những giá trị còn lại.

Then, since I know the periods, I can calculate omega.

Sau đó, vì tôi biết chu kỳ, tôi có thể tính omega.

Omega is two pi divided by T, so I know omega.

Omega bằng 2 pi chia T, vì vậy tôi biết omega.

And then I take omega squared times the mean distance to the sun and this is, of course, the centripetal acceleration.

Và sau đó tôi lấy omega bình nhân khoảng cách trung bình của hành tinh và tất nhiên đó là gia tốc hướng tâm.

So the planets experience this centripetal acceleration in some crazy units, but who cares about the units here? And notice that Mercury, which is 100 times closer than Pluto has a centripetal acceleration which is 10,000 times larger than Pluto.

Vì vậy những hành tinh chu gần tâm vòng quanh nó, chẳng ai mà quan tâm đến những ấy? Và chú ý rằng sao Thủy gần Mặt Trời hơn mặt trời so với sao Diêm Vương nên có gia tốc hướng tâm lớn hơn sao Diêm Vương 10000 lần.

100 times closer has a 10,000 times larger centripetal acceleration.
100 lần gần hơn thì có gia tốc hướng tâm lớn hơn 10,000 lần.

So what I did was I plotted this data, the centripetal acceleration versus the mean distance to the sun and I did that on log paper.

Vì vậy tôi sẽ làm gì tôi sẽ thể hiện đồ thị này, gia tốc hướng tâm theo khoảng cách trung bình đến mặt trời và tôi đã làm điều đó trên giấy logarit.

And what immediately strikes...

Và ngay lập tức điều gì gây ấn tượng.....

is very striking is that all these points—

Rất ấn tượng là tất cả những điểm này --

I've done them for all the planets—

Tôi đã vẽ cho tất cả các hành tinh.

they fall on a straight line.

Chúng nằm trên một đường thẳng.

And so what is the slope of that line? Well, I tried various slopes and I found that the slope is very, very close to minus two.

Và vì vậy hệ số góc của đường thẳng đó là gì? , tôi đã tính thử nhiều hệ số góc khác nhau và tôi thấy rằng nó rất, rất gần với -2.

Here is the slope of minus two, and I can overlay this and notice that the fit is absolutely stunning.

Đây là hệ số góc trừ 2, và tôi có thể che cái này và chú ý rằng sự khớp là tuyệt vời.

Therefore, you cannot escape the conclusion that the centripetal acceleration which is the result of gravity, falls off as one over R squared.

Do đó, bạn không thể thoát khỏi kết luận rằng gia tốc hướng tâm là kết quả của lực hấp dẫn, giảm theo 1 trên R bình.

We refer to this, often, in physics as the "one over R square" law.

Trong vật lý, chúng ta gọi cái này là luật 1 trên R bình.

And therefore, the effect of gravity itself must go down with R squared.

Và do đó, hiệu ứng của chính lực hấp dẫn phải giảm theo R bình.

So if you are 100 times further away like Pluto compared to Mercury then the gravitational...

Vì vậy nếu bạn ở khoảng cách R lớn hơn 100 lần như sao Diêm Vương so với sao Thủy thì lực hấp dẫn.....

the centripetal acceleration which is due to gravity is 10,000 times smaller.

Gia tốc hướng tâm do lực hấp dẫn phải giảm hơn 10 000 lần.

And we will learn a lot about gravity in the future.

Và chúng ta sẽ chỉ để nó ở đó trong thời gian này.

We will just leave it for now.

Bây giờ chúng ta sẽ chia tay nó.

If you took the sun away, it would be like cutting the string that provides the pull and in that case what you would see is that the planets would just take off along a straight line.

Nếu bạn lấy mặt trời đi xa, nó sẽ giống như cắt dây cung cấp lực kéo và trong trường hợp đó những gì bạn thấy là các hành tinh sẽ bay ra theo đường thẳng.

They would continue to go.

Chúng sẽ tiếp tục đi.

They wouldn't have anything to pull on them anymore.

Không có gì kéo chúng nữa.

Now let's look at an object that we're going to rotate.

Bây giờ hãy nhìn một vật mà chúng ta sẽ quay.

I have a glass tube that I want to rotate and in the glass tube, I have a marble.

Tôi có một ống thủy tinh mà tôi muốn quay và trong ống thủy tinh đó, tôi có một viên bi.

The glass tube is very smooth.

Ống thủy tinh rất trơn.

I have here the glass tube.

Đây tôi có ống thủy tinh.

Here's a marble.

Đây là viên bi.

I'm going to rotate it in this direction say, with some angular velocity ω about an axis perpendicular to the blackboard.

Gi s tôi s quay nó theo h ng này, v i v n t c góc ω nào ó quanh m t tr c vuông góc v i b ng en.

So the marble here has a velocity like so, at this moment in time but it's a very smooth glass tube and the marble is very smooth.

Vì v y ây viên bi có v n t c gi ng nh v y, t i th i này nh ng nó là m t ng th y tinh r t tr n và viên bi r t tr n.

The glass cannot push on the marble nor can the glass pull on the marble.

Th y tinh không th y viên bi ho c kéo viên bi.

Now, the marble gets desperate because the marble needs a centripetal acceleration in this direction in order to go around like this.

Bây gi , qu bi tuy t v ng vì qu bi c n m t gia t c h ng tâm theo h ng này chuy n ng tròn nh th này.

But there is nothing to provide that centripetal acceleration.

Nh ng không có th gì cung c p gia t c h ng tâm ó.

So the marble is doing exactly the same that the planets would do if you take the sun away.

Vì v y viên bi làm t ng t i u mà các hành tinh làm n u b n em m t tr i ra xa.

The marble continues to go in the direction that it was going.

Viên bi ti p t c i theo h ng mà nó ang i.

So by the time that the tube is here, the marble is here and by the time that the tube is here the marble is there.

Vì v y vào lúc này ng ây, viên bi ây và vào lúc này ng ây, viên bi ó.

So the marble finds its way to the edge and that's, of course the basic idea behind a centrifuge.

Vì v y viên bi tìm ng i n biên ngoài , và t t nhiên, ó là ý t ng c b n v máy li tâm.

My grandmother had always...

Bà ngo i tôi luôn luôn

She was a great lady and she had such fantastic ideas, I remember.

Bà là m t ng i àn bà tuy t v i và tôi nh bà tôi luôn luôn có nh ng ý t ng kì l

And when she made lettuce we had no good way of drying the lettuce and I would take the lettuce and go like this... paper towel.

Và khi bà y làm ra di p chúng tôi không có cách nào t t làm cho rau di p s ch n c và tôi s c m rau di p và i nh th này.....

She had a method of her own.

Bà tôi có ph ng pháp riêng.

She took a colander and, of course, first of all we would wash the lettuce, that goes without saying.

Bà y l y m t cái rây l c và t t nhiên, tr c h t chúng tôi s r a rau di p, i u mà không c n ph i nói. I would wash it once.

Tôi s r a nó m t l n.

My grandmother would wash it three times but that's what you have grandmothers for.

Nhng bà ngo i tôi s r a nó 3 l n nh ng ó là nh ng gì b n c bà ngo i cho.

So there comes the lettuce.

Vậy ó là xong rau diếp.

We were also very fond of spinach, so add some spinach.

Chúng tôi cũng thích rau bina, vì vậy thêm một ít rau bina.

We would wash it...

Chúng tôi sẽ rửa nó.....

there goes the spinach.

ó là rau bina

Then she would take something to cover it up—

Rồi bà tôi sẽ lấy cái gì ó phủ lên trên - -

maybe some Saran wrap, or something else—

Có thể là tấm nhựa Saran, hoặc thứ gì khác --

put it over it and put a rubber band around it to hold it.

đặt nó lên trên này và ràng một dây cao su xung quanh giữ nó.

And now what she's going to do, she's going to swing it around.

Và bây giờ là những gì bà sẽ làm là, bà sẽ lắc nó lòng vòng.

And now the water is like these marbles.

Và bây giờ nước giống như những viên bi này.

The water will work its way to the edge but there are holes, so the water will come out.

Nhưng chắc hẳn ra bên ngoài có lỗ, vì vậy nước sẽ ra ngoài.

Isn't she clever? Okay, I'll give you a demonstration.

Bà ấy khéo léo đúng không? Vâng, tôi sẽ chứng minh cho bạn thấy.

Be careful or you may get some water on your lecture notes.
Hãy cẩn thận nếu không vớt nước dính lên giấy.

But I want to show you the basic idea behind it is very interesting.

Nhưng tôi muốn chỉ cho bạn ý tưởng cơ bản phía sau, nó rất hấp dẫn.

She would go out... she would do this outside, by the way.

Bà ấy đi ra ngoài....tất nhiên, bà ấy sẽ làm điều này bên ngoài.

But I have no choice, so I will do it here.

Nhưng không có sự lựa chọn nào, vì vậy tôi sẽ làm nó ở đây.

So there we go.

Ấy rồi.

[class laughs]

You see? This is the way you dry...

Bạn thấy không? Đây là cách mà bạn làm sạch nó.....

Oh, I lost my magnetic strawberry--

O, tôi làm mất quả dâu tây từ cốc của tôi rồi --

that's a detail in the process.

Đó là một chi tiết trong quy trình.

So you end up with...

Vì vậy bạn kết thúc với điều này.....

you end up with dry and clean and nice lettuce.

Bạn kết thúc làm khô và sạch và rau diếp ngon.

This is 801 at work and this is clearly an early version of a centrifuge.

Đây là 801 đang làm việc và đây rõ ràng là phiên bản đầu tiên của máy ly tâm.

Now, my grandmother's method, very tragically has been replaced lately with something that you can buy at Crate and Barrel.

Bây giờ, phương pháp rất thô sơ của bà ngoại tôi mà tôi đã thích thay bằng thứ gì đó mà bạn có thể mua tại Crate and Barrel.

We have it here.

Chúng ta có nó ở đây.

Um, it is very boring.

Uh, nó trông rất ngon.

It's very decadent.

Rotational.

Put the salad in here and all you do is you rotate and it dries.

rau sống này và tất cả những gì bên làm là bên quay và nó sẽ khô.

It's a centrifuge.

Nó là máy ly tâm.

This is actually a high-tech version of the much more sophisticated invention of my grandmother.

ây thực sự là phiên bản công nghệ cao của phát minh rực rỡ hơn nhiều của bà ngoại tôi.

And it's nowhere nearly as exciting.

Và nó chắc là không lý thú.

The days of romance are really over but that's the way it goes.

Những ngày lãng mạn đã qua nhưng đó là con đường mà nó đi.

I'm now going to make a connection between rotation on the one hand and centripetal acceleration on the other.

Bây giờ tôi sẽ kết nối quay và gia tốc hướng tâm.

I'm going to make a connection between centripetal acceleration and perceived gravity.

Tôi sẽ tìm mối quan hệ giữa gia tốc hướng tâm và trọng lực cảm nhận thấy.

The way that you perceive gravity.

ó là cách mà bạn nhận thấy trọng lực.

I'm going to put you in various positions and then ask you what is the direction of gravity.

Tôi sẽ đặt bạn ở những vị trí khác nhau và sau đó hỏi bạn hướng của trọng lực là gì.

I'm going to create artificial gravity for you.

Tôi sẽ tạo ra lực hấp dẫn nhân tạo cho bạn.

And let's first do it as follows.

Và đầu tiên chúng ta sẽ làm nó như sau.

I first hang you on a string.

Đầu tiên tôi treo bạn trên lò xo.

There you are, like this.

Bạn ở đó, giống như thế này.

And I ask you, do you feel a push or a pull? And you say, "Yeah, I feel a pull." And you feel a pull in this direction.

Và tôi hỏi bạn, bạn cảm thấy đẩy hay kéo? Và bạn nói, "vâng, tôi cảm thấy kéo." Và bạn cảm thấy kéo theo hướng này.

So now I ask you "Ah, in what direction do you perceive gravity?" and you think I'm crazy.

Vì vậy bây giờ tôi hỏi bạn "Ah, bạn cảm thấy trọng lực theo hướng nào?" và bạn nghĩ tôi điên.

You're right in that case, but nevertheless you say "Gravity is in this direction." The other direction is the pull.

Bạn đúng trong trường hợp đó, tuy thế bạn nói "Trọng lực theo hướng này." Hướng kia là kéo.

Okay, so far, so good.

Vâng, cho đến lúc này, quá đúng.

So now I'm going to put you just standing on the floor and I say to you, "Do you feel a push or a pull?" And you say, "Yeah, I feel a push.

Vì vậy bây giờ tôi sẽ đặt bạn đứng trên sàn nhà và tôi nói với bạn, "Bạn cảm thấy đẩy hay kéo?" Và bạn nói, "Vâng tôi cảm thấy đẩy."

I feel a push from the floor up." So I say, "In what direction do you perceive gravity?" You say, "Well, come on, don't be boring.

Tôi cảm thấy đẩy từ sàn nhà lên." Vì vậy tôi nói, "bạn cảm thấy trọng lực theo hướng nào?" Bạn nói "Thôi nào, chán thối."

Gravity is in this direction." Notice in both cases you tell me that gravity is always in the opposite direction of either your pull or your push.

Trọng lực theo hướng này. CHÚ Ý rằng trong cả hai trường hợp bạn nói với tôi trọng lực luôn luôn ngược chiều với sự đẩy hay kéo của bạn.

Okay, now I'm going to be a little rough on you.

Vâng, bây giờ tôi sẽ hơi hung dữ với bạn.

Now I'm going to swing you around on a string just as if you were an apple and I'm going to do this with you.

Bây giờ tôi sẽ quay bạn vòng tròn trên lò xo giống như bạn là một quả táo và tôi sẽ làm điều này với bạn.

And you're at the end of the apple.

Và bạn là quả táo.

You are the apple, not at the end.

Bạn là quả táo, không phải là quả táo.

You're at the end of the string.

B n cu i lò xo.

You are the apple.

B n là qu táo.

So there you are.

ây r i.

Here... poor you.

ây.....b n t i nghi p

[class laughs]

And I say, "Do you feel a push or a pull?" And you say, "Yeah, I do, I feel a pull." Fine, in what direction? "I feel a pull in this direction." Okay, so now I say to you "In what direction do you perceive gravity?" And you say, "Well, in the opposite direction as pull." So now you perceive gravity in this direction which is very real for you.

Và tôi nói, "B n c m th y y hay kéo?" Và b n nói, "Vâng, tôi c m th y kéo". T t, theo h ng nào? "Tôi c m th y b kéo theo h ng này". Vâng, vì v y bây gi tôi b o b n "b n c m th y tr ng l c theo h ng nào?" Và b n nói, "à, ng c h ng y." Vì v y bây gi b n c m th y tr ng l c theo h ng này là r t th c t i v i b n.

Now, in this particular case since the direction changes all the time—

Bây gi , trong tr ng h p c bi t vì h ng thay i theo th i gian - -

since I swirl you around—

vì tôi quay tròn b n - -

you will, of course, get dizzy like hell, but that's a detail.

T t nhiên, b n s hoa m t gi ng nh trong a ng c, nh ng ó là chuy n nh .

You will perceive gravity in this direction when you're here and when you're here you will perceive gravity in that direction.

B n s c m th y tr ng l c theo h ng này khi b n ây và khi b n ây b n s c m th y tr ng l c theo h ng ó.

So you perceive gravity in the direction which is opposing the pull and the faster I rotate you, the stronger will be the pull and therefore the stronger will be your perceived gravity.

Vì v y b n c m th y tr ng l c theo h ng ng c v i h ng kéo và tôi quay càng nhanh, s c kéo s càng m nh và do ó tr ng l c c c m th y s càng m nh.

A carpenter would use a plumb line and the carpenter would just hold the plumb line like this.

Và m t th m c s dùng dây d i và th m c s gi dây d i nh th này.

The pull is in this direction and so the carpenter says "Okay, perceived gravity is in that direction."

The carpenter happens to be right in this case.

S kéo theo h ng này và vì v y th m c nói " Vâng, tr ng l c c c m th y theo h ng ó." Anh th m c ng u nhiên úng trong tr ng h p này.

Gravity is in this direction, but it's the same idea.

Tr ng l c theo h ng này, nh ng nó là m t ý t ng t ng t .

The plumb line is being used to find the direction of gravity.

Dây d i c dùng tìm h ng c a tr ng l c.

Think of this as being a plumb line to find...

Hãy ngh cái này nh là dây d i tìm.....

used to find the direction of gravity.

c dùng tìm h ng c a tr ng l c.

Now you're in outer space.

Bây gi b n ngoài không gian.

You're going to play Captain Kirk and you're in a space station and there is no gravity.

B n s ch i Captain Kirk và b n trong m t tr m không gian và không có tr ng l c.

So we're going to make some gravity for you.

Vì v y chúng tôi s t o m t ít tr ng l c cho b n.

We're going to create some artificial gravity.

Chúng tôi s t o tr ng l c nhân t o.

So let this be your space station; it's a big wheel, a radius of about 100 meters and we'll make it very fancy for you.

V y hãy cho cái này là tr m không gian c a b n; nó là m t bánh xe l n, bán kính kho ng 100 m và chúng tôi s làm nó r t l th ng i v i b n.

We'll make some corridors around, like here.

Chúng tôi s t o ra vài hành lang xung quanh, gi ng nh th này.

We'll make it a very interesting space station like so... and like so.

Chúng tôi s làm cho nó thành m t tr m không gian h p d n gi ng

nh v y.....và gi ng nh v y.

And this is rotating around with angular velocity ω .

Và cái này quay tròn v i v n t c góc ω .

You're here—

B n ây

there you are.

V y ó

You go

around.

B n quay tròn

Therefore, non-negotiable you're going around with a certain velocity v .

Do ó, không th tránh kh i b n s quay tròn v i v n t c v nào ó .

This v equals ωr and therefore, you require centripetal acceleration towards the center—

v b ng ωr và do ó, b n mong mu n có gia t c h ng tâm h ng v tâm - -

that is non-negotiable.

i u ó không th tránh kh i.

Where do you get it from? Well, the floor—

B n nh n c nó t âu - -ô, sàn nhà - -

this is your floor—

ây là sàn nhà c a b n - -

is pushing on you.

ang y b n.

Simple as that, just like the floor is pushing on me now.

n gi n c ng gi ng nh sàn nhà ang y tôi bây gi .

This floor is pushing.
Sàn nhà này đang đẩy.

There's nothing wrong with that; I don't fall over.
Có gì sai với cái đó; tôi không bị.

And so I say to you, "In what direction do you perceive gravity?" And you say, "This is the direction of gravity" which is as real for you as it can be.
Và vì vậy tôi nói với bạn, "bạn cảm thấy trọng lực theo hướng nào?" Và bạn nói, "đây là hướng của trọng lực" là thực tế với bạn.

Someone else is standing here.
Một người khác đang ở đây.

What do you think that person will think if I ask that person "What is the direction of gravity?"
Exactly, radially outwards, opposing the push from the floor.
Bạn sẽ nghĩ người đó nói gì nếu tôi hỏi người đó "Hướng của trọng lực là gì?" Chính xác, hướng ra ngoài tâm, ngược với hướng đẩy từ sàn nhà.

So we could now calculate how fast we have to rotate this space ship to mimic the gravitational acceleration on Earth—

Vì vậy bây giờ chúng ta tính toán thử xem chúng ta phải quay trên tàu không gian này nhanh như thế nào để bắt chước gia tốc trọng lực của Trái Đất.

which is 9.8 meters per second squared.

Chỉ cần 9.8 m trên giây bình phương.

Let's call that 10, just to round it off a little.

Hãy xem nó như 10, chỉ chênh lệch một chút.

So we want the people who walk around in this corridor to have an acceleration $\omega^2 R$ which is about 10 so ω^2 is about 0.1 so ω is about 0.3 radians per second.

Vì vậy chúng ta muốn người đi chuyển vòng ngoài hành lang này có gia tốc $\omega^2 R$ bình phương khoảng 10 vì vậy ω^2 bình phương khoảng 0.1 vì vậy ω là 0.3 radian trên giây.

And so the period to go around is about two pi divided by omega and that is about 20 seconds.

Và chu kỳ chuyển vòng khoảng 2 pi chia omega và khoảng 20 giây.

And the tangential speed—

Và tốc độ tiếp tuyến - -

that value for v , which is ωR —
giá trị của v , là ωR - -

would then be 0.3 times 100 would be about 30 meters per second just to give you an idea for these numbers which are by no means so ridiculous.

Do đó số là 0.3 nhân 100 sẽ là 30 m/s chỉ cho bạn một ý tưởng về những số này không khi nào là vô nghĩa.

What is interesting, that the perceived gravity--

Cái gì đáng chú ý, trọng lực cảm nhận được

and therefore the centripetal acceleration—

Và do đó gia tốc hướng tâm - -

is zero here.

Bằng 0 ở đây.

There is nothing; there is no gravity there.

Không có gì; không có trọng lực ở đây.

And so that may be a good place for you to have your sleeping quarters.

Và vì vậy có lẽ là nơi tốt cho bạn ngủ 15 phút.

Now comes an interesting question.

Bây giờ đến một câu hỏi lí thú.

You can walk around here without any problem.

Bạn có thể đi quanh đây mà không có bất cứ vấn đề gì.

Could you walk into these spokes? So when you were here, could you then walk towards your sleeping quarters? When you were standing here and I first ask you "In what direction is gravity?" And you will say, "Well, gravity is in this direction." Can you now walk to your sleeping quarters? And what's the answer? You cannot.

Bạn có thể đi vào trong những béc thang này không? Vậy khi bạn ở đây, bạn có thể đi về phía các

bến không? Khi bạn đang đứng ở đây và ưu tiên tôi hỏi bạn "Hướng của trọng lực là gì?" Và bạn sẽ nói,

"Ồ, trọng lực theo hướng này." Bây giờ bạn có thể đi lên phía các bến không? Và câu trả lời là gì?

Bạn không thể.

You cannot walk up against gravity.

Bạn không thể đi lên chống lại trọng lực.

It would be like asking you to walk to the ceiling.

Giống như hỏi bạn đi lên trần nhà có không.

How do you do that? An elevator or a staircase, that's fine because then you get the push from the stairs when you step on the stairs.

Bạn làm gì ở nhà thế nào? Máy thang máy hoặc cầu thang, đi xuống thì vì nhà ở bên dưới nên bạn có thể đi xuống khi bạn bước lên cầu thang.

So you could have the staircase here and that's the way this person could go here.

Vì vậy bạn có thể có cầu thang ở đây và đó là cách mà người này có thể đi xuống đây.

But you cannot simply walk here because gravity is always in this direction.

Nhưng bạn không thể đi xuống đây vì trọng lực luôn theo hướng này.

Now let's suppose you are at your sleeping quarters and you wake up in the morning and you decide to go back either in this direction or this direction or this direction or that direction—
Bây giờ, giả sử rằng bạn đang tỉnh dậy và bạn quyết định vào buổi sáng và bạn quyết định đi theo hướng này hoặc theo hướng này hoặc theo hướng này hoặc theo hướng đó - -

it doesn't matter.

Không sao cả.

Could you do that, just by...

Bạn có thể làm gì ở đây,

just going into this corridor and slowly, carefully starting moving? What would happen? Yeah? Chỉ đi vào trong hành lang này và chậm, cẩn thận bắt đầu di chuyển? Điều gì xảy ra? Vâng?

STUDENT: You would fly out.

Bạn sẽ bay ra ngoài.

LEWIN: You would fly out.

Bạn sẽ bay ra ngoài.

It would be suicide, because the moment that you are here already, you have maybe not a very large gravitational experience but already it's beginning to grow on you.

Đó là sự tự tử, vì lúc mà bạn ở đây rồi, có lẽ bạn không chú trọng lắm nhưng nó bắt đầu tác động tăng dần lên bạn rồi.

The farther out you are, the stronger it will be.

Bạn càng đi xa ra ngoài, nó sẽ càng mạnh mẽ.

By the time you're here, it's 10 meters per second squared.

Vào lúc bạn ở đây, nó là 10 mét trên giây bình phương.

Remember? We had 10 meters per second squared because we wanted to mimic the Earth and so you literally crash.

Nhưng không? Bạn có 10 m trên giây bình phương vì chúng ta muốn bắt chước trái đất vì vậy bạn đúng là đâm sầm xuống.

It's like falling into a shaft, jumping into a shaft.

Nó giống như rơi vào một cái hố, nhảy vào trong hố.

It's not quite the same because you start off with no pull on you.

Nhưng không giống hoàn toàn bởi vì không có lực kéo tác động lên bạn nữa.

The moment you start going, however the situation gets out of hand and indeed you will slam.

Lúc bạn bắt đầu đi, tuy nhiên tình huống sẽ vượt khỏi tầm kiểm soát và cuối cùng bạn sẽ ném phịch.

So you can use the same elevator.

Vì vì vậy bạn có thể dùng thang máy giống nhau.

You can use the same staircase.

Bạn có thể dùng cùng một thang giống nhau.

There's nothing wrong with that.

Không có gì sai về cái đó.

Suppose I have a liquid which has very, very fine, small particles in it—

Giả sử tôi có một chất lỏng có những hạt rất nhỏ, nhỏ trong nó - -

extremely small, so small and so light that they will not sink to the bottom.

Các hạt nhỏ, quá nhỏ và quá nhẹ nên chúng không lắng xuống đáy.

So you will always see some colored milky-type liquid.

Vì vì vậy bạn sẽ luôn luôn thấy một chất lỏng có màu giống sữa.

And here is that tube which has these fine particles.

Và đây là ống có những hạt tinh này.

And the tube is sitting there and the line of the liquid is obviously like this.

Và ống đang nằm ở đây và hình ảnh dòng chất lỏng giống như thế này.

Why? Well, that's obvious.

Tại sao? Oh, dĩ nhiên rồi.

Because gravity is in this direction.

Vì trọng lực theo hướng này.

And so the surface of the liquid is always perpendicular to gravity.

Và vì vậy mặt chất lỏng luôn vuông góc với trọng lực.

You see here two glasses with water.
Ây b n th y hai l n c.

The surface is perpendicular to gravity.
B m t vuông góc v i tr ng l c.

Now I'm going to rotate this about this axis—

Bây gi tôi s quay cái này quang tr c này - -

it's going around like this—

nó s chuy n ng tròn th này - -

and I'm going to rotate it with an angular velocity ω and this is at a distance, R .
và tôi s quay nó v i v n t c góc ω và ây là t i kho ng cách , R .

Therefore, there is now a centripetal acceleration in this direction, and so the particles now say "Aha! Gravity is in this direction." The side of the glass and the liquid is pushing in this direction to provide this centripetal acceleration.

Do ó, bây gi có gia t c h ng tâm theo h ng này, và vì v y bây gi các h t nói "Aha! Tr ng l c theo h ng này." Thành li và ch t l ng ang y theo h ng này cung c p gia t c h ng tâm này.

So if you ask them, "Where is gravity?" they will say "Gravity is there." And this gravitational effect can be so much stronger than this one that you can forget this one--

Vì v y n u b n h i chúng, "Tr ng l c âu?" chúng s nói "Tr ng l c ó." Và tác ng c a tr ng l c có th l n h n cái này r t nhi u n n i b n có th quên cái này - -
you will see that in a minute.

B n s hi u i u ó trong m t phút.

You can completely forget this one.
B n có th hoàn toàn quên cái này.

And so the liquid will say "I'm going to be perpendicular to gravity." And so the liquid will go like this, clunk.

Và vì v y ch t l ng s nói "Tôi s vuông góc v i tr ng l c." và vì v y ch t l ng s i nh th này.

While it rotates around the liquid in this tilted tube will be vertical.

Khi nó quay tròn ch t l ng trong ng nghiêng này s i lên theo ph ng th ng ng.

But not only that, the particles that are here experience now way stronger gravity than they did before so I have made them heavier.

Nh ng không ch cái ó, bây gi nh ng h t ây i qua con ng có tr ng l c m nh h n chúng ã i vì v y tôi ã làm chúng n ng h n.

They are no longer light particles.
Chúng không còn là nh ng h t nh n a.

They are heavy particles, and what do heavy particles do? They have no problems in making it to the side.

Chúng là nh ng h t n ng, và nh ng h t n ng làm gì? Chúng r t d i ra thành li.

The reason why the light particles couldn't fall in the first place has to do with the fact that the molecules of the liquid due to their temperature, have a chaotic motion.

Các h t nh không th r i vào n i u tiên vì do nhi t , các phân t c a ch t l ng có chuy n ng r i.

We call that the "thermal agitation." And these molecules would interact with these very small and light particles and so the light particles would never make it to the bottom.

Chúng ta g i ó là chuy n ng nhi t. Và nh ng phân t này t ng tác v i nh ng h t r t nh và r t nh này và vì v y nh ng h t nh s không bao gi i xu ng áy.

The thermal agitation now of the liquid is the same—

Bây giờ chuyển động nhiệt của chất lỏng giống như

the temperature doesn't change—

nhiệt không thay đổi—

but the particles have become way, way heavier and so the particles now go in the direction of gravity which is here.

Nhưng các hạt trở nên nặng hơn và vì vậy bây giờ các hạt đi theo hướng của trọng lực ở đây.

And what you will see, if these particles are white you will see white precipitation there and the liquid will become clear.

Và những gì bạn sẽ thấy, nếu những hạt này trở nên trắng thì sẽ kết tủa ở đây và chất lỏng trở nên trong suốt.

And that is something that I would like to demonstrate to you.

Và đó là vài điều mà tôi muốn chứng minh cho bạn.

But before I do that, I want to give you some numbers.

Nhưng trước khi tôi làm điều đó, tôi muốn cho bạn một vài số.

Here we have a household, simple, nothing-special centrifuge that is used in any laboratory.

Đây chúng ta có một máy ly tâm, đơn giản, không có gì đặc biệt dùng trong mọi phòng thí nghiệm.

The centrifuge that we have has an rpm which is 3600 rpm.
Máy li tâm mà chúng ta có có số vòng quay trên phút là 3600 rpm.

So 3600 rpm translates into a frequency of 60 Hz.

3600 rpm chuyển sang tần số là 60 Hz.

So it goes around once in one-sixtieth of a second.

Vì vậy nó quay một vòng tròn trong 1/60 giây.

Omega is two pi times f is therefore roughly 360 radians per second.
Do đó, Omega là 2 pi nhân f khoảng 360 radian trên giây.

360 radians per second.
360 radian trên giây.

If we assume that the radius is...

Nếu chúng ta giả sử bán kính là

maybe it's 10, 15 centimeters.

Có lẽ nó là 10, hoặc 15 cm.

Whatever, let's take a radius of 15 centimeters.
Bất kể thế nào, hãy lấy bán kính là 15 cm.

And we can calculate now what the centripetal acceleration is.
Và bây giờ chúng ta có thể tính gia tốc hướng tâm bằng bao nhiêu.

And the centripetal acceleration a_c which is $\omega^2 R$ is then roughly about 20,000 meters per second squared.

Và gia tốc hướng tâm a_c là $\omega^2 R$ khoảng 20,000 mét trên giây bình.

20,000 meters per second squared.
20,000 mét trên giây bình.

And that is 2,000 times the gravitational acceleration.
Và giá trị này lớn gấp 2,000 lần gia tốc trọng trường.

It means that these particles experience gravity which is 2,000 times stronger than if I don't rotate them.

Có nghĩa là những hạt này chịu trọng lực 2000 lần lớn hơn so với trọng lực nếu tôi không quay chúng.

And so they will go to the side here.
Và vì vậy chúng sẽ đi về các thành li đây.

But the glass itself is also 2,000 times heavier and therefore the glass can easily break so when you design a centrifuge like that you have to really think that through very carefully—
Nhưng chính tỷ trọng của nó gấp 2000 lần nên nó nặng hơn và do đó thật sự cần phải nghĩ kỹ vì vậy khi bạn thiết kế máy li tâm gì thì phải nghĩ kỹ về việc nó có thể vỡ vì vậy khi bạn thiết kế máy li tâm thì phải nghĩ kỹ về việc nó có thể vỡ - -

that the pieces that are in there don't fly apart.
Nhưng may mắn là nó không bị vỡ ra thành mảnh.

I have here water in which I have dissolved some table salt—
Đây tôi có nước mà tôi đã hòa tan một ít muối - -

the same table salt that you use in the kitchen when you prepare your food, table salt in here.

Các viên muối trắng nhỏ được dùng trong nhà bếp khi bạn đun nóng thức phẩm, viên muối này.

Here I have water in which I dissolved some silver nitrate.

Đây tôi có nước mà tôi đã hòa vào đó một ít bạc nitrat.

It's nasty stuff, I warn you for it, you have to be very careful because if you get the stuff on your hands it burns through your hands very quickly without your realizing it and you end up with a very black spot.

Nó là chất độc, tôi cảnh báo bạn nhé, bạn phải rất cẩn thận nếu bạn chạm tay lên trên tay bạn nó sẽ làm bỏng tay bạn rất nhanh mà bạn không kịp nhận ra và sẽ để lại vết đen.

It really eats away, burns out your skin.

Nó ăn mòn, làm bỏng da bạn.

People put it on warts and then the warts, they think, fall off.

Người ta bôi nó trên mụn cóc, sau đó mụn cóc sẽ rụng.

They probably do after a while but your finger may also fall off.

Chúng có thể rụng sau một chút nhưng ngón tay của bạn cũng có

thể rụng.

So I have here silver nitrate and there I have sodium chloride and I mix the two.

Vậy đây tôi có bạc nitrat và ở đây tôi có muối và tôi trộn hai thứ.

So I get table salt--

Vậy tôi lấy muối --

sodium chloride—

NaCl

plus silver nitrate gives sodium nitrate plus silver chloride and this, very small white particles, and you will see that the liquid turns milky instantaneously.

Cộng bạc nitrat cho NaCl cộng AgNO₃ và cái này, nhúng hớt trng r t nh , và b n s th y ch t l ng chuy n sang màu gi ng nh s a ngay l p t c.

It almost becomes like, like yogurt, as you will see.

Nó gi ng nh yao-ua nh b n s th y.

And so I want to show that to you.

Và vì vậy tôi muốn chỉ u ó cho b n.

I have here these two glasses.

ây tôi có hai li này.

This is the table salt and this is the silver nitrate.

ây là NaCl và ây là AgNO₃

I'm going to mix them.

Tôi sẽ trộn chúng v i nhau.

I hope you can see this.

Tôi hi vọng b n s th y cái này.

Here are the two glasses, and when I mix them...

ây là hai li, và khi tôi trộn chúng

[whistles]

instantaneously you get milk.

Ngay t c th i b n nh n c s a.

[class laughs]

Yeah.

Vâng.

I'm not asking you to taste it but look at it, right? Just milk.

Tôi sẽ không b o b n n m nó nh ng hãy nhìn nó, úng không? Nh s a.

You can leave this for hours and hours and hours and it will just stay like that.

B n có th b nó hàng gi và nó v n gi nguyên tr ng thái gi ng nh th ó.

Very small particles of silver chloride are in here.

Nhúng hớt B c clorua r t nh ây.

So now we are going to put this in the centrifuge.

Vì vậy bây gi chúng ta sẽ t cái này vào máy li tâm.

I have to put it in a very small tube.

Tôi phải t nó trong m t ng r t

nh .

I'll show you this small tube.

Tôi s ch cho b n ng nh này.

There's no way that I can pour that in without making a mess.

Không có cách nào rót nó vào mà không làm t o ra s h n n.

Here's this small tube and so what I will do is I will first put it in a small beaker and then from this small beaker I will transfer it, some of it, to this tube.

ây là ng nh này và vì v y nh ng gì tôi s làm là u tiên tôi s t nó trong m t c c nh và t c c nh này tôi s s t m t ít sang ng nh này.

When you put this in a centrifuge your force on this glass is so high that you must always make sure that you balance it with another tube that you fill with water on the other side.

Khi b n t cái này trong máy li tâm l c c a b n trên li này quá l n n n i b n luôn luôn ph i ch c ch n r ng b n cân b ng nó v i ng khác mà b n ch y n c phía khác.

Otherwise the thing begins to shake like crazy.

Ng c l i chúng s b t u l c l m t cách ng ng n.

It's like your centrifuge when you dry your towels.

Nó gi ng nh máy li tâm c a b n khi b n hông khô kh n t m.

If they are not equally distributed it begins to make very obscene sounds and starts to move.

N u chúng không c phân b b ng nhau nó b t u t o ra âm thanh r t ghê g m và b t u di chuy n.

[class laughs]

And the same thing will happen here.

Và s vi c t ng t s x y ra ây.

So you just have to take my word for it that we have put on the other side just some water to balance it out.

Vì vậy bên phải chú ý rằng ý của tôi là chúng ta phải để phía còn lại một ít nước cân bằng với nó.

So here is now the yogurt and on the other side is plain water and we will just let it sit there for a while and we will return to that shortly.

Vì vậy bây giờ đây là sữa chua và phía còn lại là nước và chúng ta sẽ chờ cho nó ngưng một lúc và quay lại một lúc.

I mentioned already your centrifuge for your clothes.

Tôi đã đề cập đến máy li tâm dùng cho quần áo.

Đúng vậy.

That is the way that you can dry your clothes.

Đó là cách mà bạn có thể làm khô quần áo của bạn.

That is the same way that my grandmother dried the lettuce.

Đó là cách mà ông bà ngoại tôi làm khô rau diếp.

The water will go to the circumference.

Nước sẽ chuyển động tròn.

A household centrifuge for your clothes would easily rotate 1,200 revolutions per minute have a radius maybe of 15 centimeters which would give you a centripetal acceleration of 200 times g , 200 times the gravitational acceleration.

Máy li tâm nhà dùng cho quần áo quay 1200 vòng trên phút có bán kính 15 cm cho bạn gia tốc hướng tâm là 200 nhân g , 200 lần gia tốc trọng trường.

So your clothes experience gravity which is 200 times stronger and therefore your clothes are 200 times heavier and therefore your clothes can tear apart and we have all seen that.

Vì vậy quần áo của bạn chụm tất cả lại thành 200 lần và do đó quần áo của bạn nặng hơn 200 lần và do đó quần áo của bạn bị xáo trộn mạnh mẽ và tất cả chúng ta đều thấy điều đó.

We have all put in stuff in a centrifuge and when you take it out you're disappointed because it's torn.

Tất cả chúng ta đều để đồ trong máy li tâm và khi bạn lấy nó ra ngoài bạn thất vọng vì nó đã rách. That's because of the tremendous gravity that you have exposed them to.

Đó là vì trọng lực khủng khiếp mà bạn đã để chúng phơi khô.

Many times when I take my shirts out, half my buttons are gone.

Nhiều lần khi tôi lấy áo sơ mi của tôi ra, 1/2 số nút không còn nữa.

That's because the force—

đó là do lực —

I shouldn't use that word...

Tôi không nên dùng từ đó.....

the gravitational effect on the buttons is enormous and they just get ripped off.

nhưng gia tốc hướng tâm lên các nút là lớn và chúng chỉ

Now I want to revisit the situation that you are on the end of my string and I'm going to swirl you

around.

Bây giờ tôi muốn xem liệu việc giúp bạn cuộn lò xo và tôi sẽ quay tròn bạn.

Earlier, I swirled you around like this and you didn't like it and I don't blame you because you got dizzy.

Từ trước, tôi đã quay bạn như thế này và bạn không thích nó và tôi không trách bạn vì bạn bị hoa mắt.

Now I'm going to rotate you like this.

Bây giờ tôi sẽ quay bạn như thế này.

You may like that better.

Bạn có lẽ cảm thấy vui hơn.

Maybe not.

Có lẽ không.

[chuckles]

And so, whether you like it or not I'm going to twirl you around and here you are.

Và vì vậy, bạn thích nó hay không tôi sẽ quay bạn và đây rồi.

This is the circle.

Đây là vòng tròn.

There's a string--

Có một lò xo --

you're here.

Bạn đây.

Here's the string and there you are.
Đây là lò xo và bạn ở.

You have a certain velocity.
Bạn có một vận tốc nào đó.

Your velocity is in this direction and there is a certain distance to the center, R.

Vận tốc của bạn theo hướng này và có một khoảng cách nào đó đến tâm, R.

And so you need a certain centripetal acceleration to go around in that curve.

Và vì vận tốc của bạn gia tốc hướng tâm nào đó chuyển động tròn theo đường cong đó.

So you need a centripetal acceleration a of c^2/r —

Vì vận tốc của bạn gia tốc hướng tâm $a = v^2/r$ —

which is...

nó là.....

you can take the v squared divided by r , if you like that.

Bạn có thể lấy v bình chia r , nếu bạn thích cái đó.

This is the magnitude of that v .

Đây là v^2/r đó.

Now follow me very closely.
Hãy đi hãy theo dõi tôi chặt chẽ.

Just imagine that this number happens to be exactly 9.8.
Hãy tưởng tượng rằng số này ngẫu nhiên đúng bằng 9.8.

I can always do that.
Tôi có thể luôn luôn có được nó.

Where is this person going to get the push or the pull from for this centripetal acceleration? Does the string have to pull on it? No, because there's always gravity and gravity gives you an acceleration of 9.8 meters per second squared.

Trong gia tốc hướng tâm này, người này sẽ nhún nhảy hay kéo tay? Lò xo này phải kéo nó hay không? Không, vì luôn luôn có trọng lực và trọng lực cho bạn gia tốc 9.8 mét trên giây bình phương.

So the string says, "Tough luck, I don't have to do anything."
Vì vận tốc nói, "Thật không may, tôi không phải làm gì cả."

"Gravity provides me with the 9.8 meters per second squared that I required." Now I'm going to swing you faster, so the v will go up and so the centripetal acceleration will go up.
Trọng lực cho tôi 9.8 m trên giây bình phương mà tôi cần. Bây giờ tôi sẽ quay bạn nhanh hơn, vì vận tốc tăng lên và vì vận tốc gia tốc hướng tâm sẽ tăng lên.

The string will say "Aha! I'm going to pull now on this person "because the gravitational acceleration alone is not enough—"
Lò xo nói "Aha! Bây giờ tôi sẽ kéo người này vì một mình gia tốc trọng trường không đủ."
-

I need some extra pull." So the string is going to tighten and pull on you.

Tôi cần kéo thêm mét ít. Vì vậy lò xo sẽ căng ra và kéo bạn.

And I say, "Hello, there, in what direction is gravity?" And you say, "Gravity is in this direction." Why? Because you feel the string is pulling on you in this direction, so you experience gravity there.

Và tôi nói, " Xin chào, hướng của trọng lực là hướng nào?" Và bạn nói, " trọng lực là hướng này" Tại sao? Vì bạn cảm thấy lò xo kéo bạn theo hướng này, vì vậy bạn cảm thấy trọng lực ở đó.

Now comes the question, how real is this? This is very, very real.

Bây giờ câu hỏi, hiện tượng này thực tế như thế nào? Hiện tượng rất, rất thực.

It is so real that if I took a bucket of water instead of you...

Và nó quá thực đến nỗi tôi phải thay thế bạn bằng xô nước.

and here is the bucket of water.

Và đây là xô nước.

I attached to the bucket a rope.

Tôi gắn xô với sợi dây thừng.

I swing it around, and I swing it around such that the centripetal acceleration is substantially larger than 9.8 so the string is definitely going to pull so if you were the water, and I asked you, "Where is gravity?" you would say the gravitational direction is in this direction and so the water will say, "Okay, fine, then this will be my surface and I want to go in this direction." But the water can't go in that direction so it will just stay there.

Tôi quay nó và tôi quay nó sao cho gia tốc hướng tâm về phía tâm lớn hơn 9.8 vì vậy lò xo sẽ kéo dứt khoát bạn trong nước, và tôi hỏi bạn, "Trọng lực đâu?" Bạn sẽ nói hướng của trọng lực là hướng này và vì vậy bạn sẽ nói, "Vâng, tất nhiên đây sẽ là bề mặt của tôi và tôi muốn đi theo hướng này." Nhưng nước không thể đi theo hướng đó vì vậy nó sẽ yên ổn.

So I could swing this thing around if I do it fast enough--

Vì vậy tôi có thể quay cái này nếu tôi làm nó nhanh.

so fast that the acceleration at this point here must be larger than 9.8—
quá nhanh hơn gia tốc trọng trường này phải lớn hơn 9.8 --

the water will stay up while the bucket is upside down.
Nước sẽ ở bên trên trong khi thùng xuống đầu xuống.

How fast should I rotate it? Well, let's put in some simple numbers.
Tôi nên quay nó nhanh như thế nào? , Hãy chọn một số đơn giản nào đó.

I have here this bucket and let's say that this is about one meter.

Đây tôi có cái thùng này và giả sử đây là khoảng 1 m.

Let's round some numbers off.

Chúng ta hãy làm tròn một vài số.

So R is about one meter.
Vậy R khoảng 1m.

And I want v^2 over R I want that to be larger than 9.8—

Và tôi muốn v bình phương trên R tôi cần lớn hơn 9.8 --

let's just call it 10.

Hãy cho nó là 10

So that means v has to be larger than about 3.2 meters per second.
Vậy v ít nhất phải có giá trị là v phải lớn hơn 3.2 m/s.

The time to go around is two pi R divided by this velocity so this time to go around, then, has to be six...

Thời gian đi một vòng là $2\pi R$ chia v nên thời gian này phải nhỏ hơn 6 giây...
là.....

has to be less than two seconds.
Phải nhỏ hơn 2 giây.

So if I swing this around in less than two seconds I will be okay.
Vì vậy nếu tôi quay tròn cái này trong 2 giây thì sẽ ok

Now, I realize that the speed when I move this thing around is not constant everywhere.

Bây giờ, tôi nhận thấy rằng tốc độ khi tôi di chuyển cái này theo vòng tròn không là hằng số
mọi nơi.

That's very difficult to do that, because of gravity.

Rất khó làm điều đó, vì trọng lực.

But it's close enough to get an idea.
Nhưng nó gần đúng để có một ý tưởng.

So if I rotate this faster than in two seconds when the bucket is upside-down if physics works, the water should not fall out.

Vì vậy nếu tôi quay cái này nhanh hơn 2 giây khi cái thùng xuống đầu xuống nếu vật lý tiên đoán đúng, nước sẽ không rơi ra ngoài.

So let us fill this with water.

Vì vậy chúng ta hãy đổ nước vào đây.

There we go.

Ấy rồi.

I'm always nervous about this.

Tôi luôn luôn cảm thấy lo lắng về điều này.

Um, let's first look at the centrifuge.

Um, đầu tiên chúng ta hãy nhìn bình ly tâm.

We have to see whether the centrifuge has done its job.

Chúng ta hãy nhìn xem bình ly tâm đã hoàn thành công việc

của nó hay chưa.

So let's look at what this tube...

Vì vậy hãy nhìn những gì trong ống này

I think it was tube number four.

Tôi nghĩ nó là ống số 4.

Oh, yeah! Very clear is now the liquid and you see the white stuff here on the side.

Oh, vâng! Bây giờ là chất lỏng trong và bên cạnh thấy chất màu trắng đây các thành bên.

It's not too easy for you to see, really.

Thật sự các bạn rất khó thấy.

I put my hand under here.

Tôi đặt tay dưới đây.

Maybe some of you can see some white stuff but it's no longer milk--

Có lẽ một số bạn thấy một chút màu trắng nào đó nhưng nó không còn là sữa --

really a clear liquid.
Ch ít l ng th c s r t trong.

Here you see some white stuff here but it's also on the side.

ây b n th y m t ch t màu tr ng nh ng nó c ng thành ng

You can actually see it here.

B n th c s có th th y nó ây.

You see the white stuff because this was the direction of gravity so it ended up here and there's some here.

B n th y ch t màu tr ng vì ây là h ng c a tr ng l c vì v y nó k t thúc ây và có m t ít ây.

It is completely clear.
Hoàn toàn rõ ràng.

You see the white stuff? So that's the way that you can separate the silver chloride.

B n th y ch t màu tr ng? Vì v y ó là cách mà b n có th tách b c clorua

So now we come to this daredevil, daredevil experiment.

Vì v y bây gi n thí nghi m táo b o này.

And we're going to see whether we can fool the water and make the water think that gravity is not in this direction but in this direction.

Và chúng ta s th y chúng ta có th l a n c hay không và làm cho n c ngh r ng tr ng l c không theo h ng này mà theo h ng này.

Now, you're doing the right thing, there.

Bây gi , b n ang làm i u úng, ó.

[class laughs]

I don't blame you at all.

Tôi không trách các b n gì c

[Lewin chuckling]

Okay...

There we go! You see the water is completely fooled and notice that I go around substantially faster than in two seconds.

B n s th y n c hoàn toàn b l a và chú ý r ng tôi s chuy n ng tròn v c b n là nhanh h n 2 giây.

And the water, when it's up there just thinks that gravity is towards the ceiling.

Và n c, khi nó lên n ó ch ngh r ng tr ng l c h ng lên tr n nhà.

Physics works.

Now, who is going to do this for me, too?

Bây gi , có ai mu n th làm không?

[class laughs]

Please, someone should try this.

Ai ó nên th làm cái này.

You think you can do it? Come on, try it.

Bạn nghĩ bạn có thể làm nó? Thôi nào,

hãy thử

In the worst case, it will be a disaster.

Trong trường hợp xấu nhất, nó sẽ là tai họa.

[class laughs]

Okay, get some feel for it, but before you do it make sure that I'm out of the way.

Vâng, nhận cảm giác về nó, nhưng trước khi bạn làm nó hãy đảm bảo rằng tôi ngoài tầm với.

But first swing it a little and don't hold it too close to you because I don't want you to get hurt.

Nhưng trước hết hãy lắc nó một chút và không giữ nó quá gần bạn vì tôi không muốn bạn bị thương.

Larger swing, larger, larger.

Lớn hơn, lớn hơn, lớn hơn.

Now you get some feel for it.

Bây giờ hãy nhận cảm giác về nó.

Go for it, now! Yeah, faster!

Bây giờ, đi theo nói! Vâng, nhanh hơn!

[class laughs]

That was very good.

r t t t

[class laughs and applauds]

See you Friday.

Hẹn gặp lại sáu.

[applause]