

[www.mientayvn.com](http://www.mientayvn.com)

Đây là bản chép lời giảng của giáo sư [Ramamurti Shankar](#) trên lớp. Bạn có thể xem toàn bộ bài giảng này bằng cách <http://www.mientayvn.com> > Học li u m > i h c Yale > Lí > C s v t lí > Ch ơ ng I: Gi i thi u khóa h c và c h c Newton

**Professor Ramamurti Shankar:** This is a first part of the year-long course introducing you to all the major ideas in physics, starting from Galileo and Newton right up to the big revolutions of the last century, which was on relativity and quantum mechanics. The target audience for this course is really very broad. In fact, I've always been surprised at how broad the representation is. I don't know what your major is; I don't know what you are going to do later so I picked the topics that all of us in physics find fascinating. Some may or may not be useful, but you just don't know. Some of you are probably going to be doctors and you don't know why I'm going to do special relativity or quantum mechanics, but you don't know when it will come in handy. If you're a doctor and you've got a patient who's running away from you at the speed of light, you'll know what to do. Or, if you're a pediatrician with a really small patient who will not sit still, it's because the laws of quantum mechanics don't allow an object to have a definite position and momentum. So these are all things you just don't know when they will come in handy, and I teach them because these are the things that turn me on and got me going into physics and whether or not you go into physics, you should certainly learn about the biggest and most interesting revolutions right up to present day physics.

Giáo sư Ramamurti Shankar: Đây là phần đầu của khóa học kéo dài một năm giới thiệu cho bạn tất cả các ý tưởng lớn trong vật lý, bắt đầu từ Galileo và Newton đến với các cách mạng lớn của thế kỷ qua, đó là lý thuyết tương đối và cơ học lượng tử. Các nội dung chính của khóa học này thực sự rất rộng. Thật ra, tôi luôn luôn ngạc nhiên vì sự trình bày rộng như thế nào. Tôi không biết chuyên ngành của bạn là gì, tôi không biết bạn sẽ làm gì sau này vì vậy tôi đã chọn những chủ đề mà tất cả chúng ta cảm thấy hấp dẫn trong vật lý. Một số có thể hữu ích hoặc không, nhưng bạn vẫn không biết. Một số bạn có lẽ sẽ là bác sĩ và các bạn không biết lý do tại sao tôi dạy các bạn thuyết tương đối cơ học lượng tử, nhưng bạn không biết khi nào nó sẽ có ích. Nhưng bạn là một bác sĩ và bạn có một bệnh nhân đang chạy ra xa vì vì một tia ánh sáng, bạn sẽ biết phải làm gì. Hoặc, nhưng bạn là một bác sĩ nhi khoa vì một bệnh nhân như vậy, nhưng ngay cả thế cũng không thể ngăn ngừa, đó là vì các quy luật của cơ học lượng tử không cho phép một vật thể có vị trí và năng lượng xác định. Vì vậy, đây là những thứ mà bạn vẫn còn chưa biết khi nào chúng sẽ có ích, và tôi dạy chúng bởi vì đây là những thứ làm tôi hứng khởi và đưa tôi đi vào trong vật lý có thể hoặc không đưa bạn vào vật lý, tất nhiên bạn sẽ học về các cuộc cách mạng lớn nhất và thú vị nhất trong vật lý ngày nay.

All right. So that's what the subject matter's going to be, and I'm going to tell you a little bit about how the course is organized. First thing is, this year it's going to be taped. You can see some people in the back with cameras as part of an experimental pilot program

funded by the Hewlett Foundation and at some point they will decide what they will do with these lectures. Most probably they'll post them somewhere so people elsewhere can have the benefit of what you have sitting in the classroom. So I've been told that from now on we just ignore the camera and do business as usual. Nothing's going to be changed. I tried to negotiate a laugh track so that if the jokes don't work we can superimpose some laughter. I was told "no." I just got to deal with it as it happens. So it's going to be--it's like one of the reality shows where things are going to be as they are and hopefully after a while we'll learn to act and behave normally and not worry about its presence. Then, coming to the rest of the details of the course. By the way, there are more details on the website that I posted, that was given to me by the university, if you want to know more about what all this is about.

cr i. Vì vậy, đó là về các nội dung chủ yếu của khóa học, và tôi sẽ cho bạn biết một chút về cách tổ chức khóa học. Thứ nhất là, trong năm nay, nó sẽ có ghi âm sẵn. Bạn có thể thử xem từ phía sau vì máy ảnh không thể nhìn thấy những gì đang diễn ra. Tôi có tài trợ từ Hewlett và tôi muốn biết những gì họ sẽ quy định làm gì với những bài giảng này. Có lẽ họ sẽ gửi chúng đến bạn nào đó mà không có thể có lợi ích gì ngay bây giờ. Vì vậy, tôi bây giờ thì tôi sẽ bỏ qua chúng ta sẽ không qua các máy ảnh và làm nhiệm vụ bình thường. Không có gì thay đổi. Tôi cũng nghĩ rằng tất cả các khán giả vào các tập tin ghi âm cho bạn các lời nói của chúng ta cũng có thể có một số tiếng cười. Tôi sẽ là "không". Tôi chỉ phải nói về nó khi nó xảy ra. Vì vậy, nó sẽ là nó gì ngay bây giờ trong những gì cho thấy các thứ như chúng ta sẽ đi và đi về sau một khoảng thời gian chúng ta sẽ có cách hành động và các bình thường và không phải là lo lắng về sự hiện diện của nó. Sau đó, nếu bạn còn lại các chi tiết về khóa học. Nhân đây, có thêm những chi tiết trên trang web mà tôi đã đăng, cái đó sẽ cho tôi biết rằng nếu bạn muốn biết thêm về cái này nói về cái gì.

The course organization is fairly simple. We're going to meet Monday and Wednesday in this room, 11:30-12:45. I will give you some problems to do on Wednesday and I'll post them on the website. You guys should get used to going to the class' website. I'm really, really dependent on that now. I finally learned how to use it. I will use that to post information, maybe once in a while send e-mail to the whole class. If you want to get those e-mails, you got to sign up for the course because I push a button and it goes to anybody who's signed up there. The homework will be given on Wednesday and it's due before class the following Wednesday.

Vì tổ chức khóa học khá ngắn gọn. Chúng ta sẽ gặp nhau vào thứ hai và thứ tư trong phòng, từ 11:30 đến 12:45. Tôi sẽ cho bạn một số bài tập làm vào thứ tư và chúng tôi sẽ đăng chúng lên trang web. Các bạn nên quen với việc trên trang web của môn học. Tôi thì sẽ, thì sẽ phải thu vào nó bây giờ. Cùng với tôi đã học về cách sử dụng nó. Tôi sẽ sử dụng gửi thông tin, có thể một lần trong một lúc gửi e-mail cho các bạn. Nếu bạn muốn nhận được những e-mail này, bạn phải đăng ký khóa học này bởi vì tôi nhấn nút và nó sẽ gửi bạn một cái gì đó. Bài tập về nhà sẽ cho vào ngày thứ tư và vào thứ tư tuần sau là những bài tập.

Let me introduce you to our head TA, Mara Daniel, who's recently Mara Baraban. So Mara's going to be the person who will see you after class and she will take the problem sets that you have submitted before class and she'll give you the graded ones after class. Okay? That will be sorted up, it'll be up there. So you should drop the homework before you come into class, rather than furiously work on it during class, and the solutions will be posted the same afternoon. So there is not much point in giving homework that's late. But once in a while, you know, you will come up with a reason that I just cannot argue with. You got married, you're getting a transplant, whatever it is. That's fine. You got a transplant, I want to see the old body part. You got married, I want to see your spouse. If something happened to a grandparent, I'm counting. Up to four I don't get suspicious. Go five, six, seven, eight, I will have to look into the family tree. But, you know, any reasonable excuse will be entertained.

Hãy tôi gì thi u cho b n tr gi ng ng u c a chúng tôi, Mara Daniel, ng i m i ây là Mara Baraban. Vì v y, Mara s là ng i g p b n sau khi lên l p và cô y s nh n các x p bài t p mà b n ã g i tr c khi lên l p và cô y s cho b n nh ng i m sau gi h c. úng không? Nó c s p x p, r i a lên ó. Vì v y, b n nên g i các bài t p nhà tr c khi lên l p, thay vì làm vi c đ d i v i nó trong l p h c, và các bài gi i s c ng vào bu i chi u cùng ngày. Vì v y, không có nhi u i m cho các bài t p v nhà n p tr . Nh ng m t l n vào lúc nào ó, b n bi t, b n s a ra m t lý do mà tôi không th tranh cãi. B n ã l p gia ình, b n ang c y ghép c quan, hay b t c th gì ó. i u ó t t. B n c c y ghép, tôi mu n th y ph n c th c . B n ã l p gia ình, tôi mu n th y v / ch ng c a b n. N u có i u gì x y ra v i ông bà, tôi s cân nh c. Lên n b n tôi không nghi ng . n n m, sáu, b y, tám, tôi s ph i tìm trong nh ng cây gia ph . Nh ng, b n ã bi t, b t c lý do gì h p lý s c xem xét.

Relative importance given to these different things, there's 20% for your homework, 30% for the Midterm, which will be sometime in October, and 50% for the Final. That'll be the weighted average. But I have another plan called the "Amnesty Plan" in which I also compare just your final grade, what you did on the Final exam, and whichever is higher of the two is what I will take to determine your overall course grade. This is something I used to announce near the end but then some people felt that it's not fair not to know this from the beginning. So, I'm telling you from the beginning, but don't dream and think that somehow the Final's going to be so much different from your regular day-to-day performance, but to give you some reason to live after the Midterm. So, yo u feel there is hope. I can change everything overnight; it does happen. I put that in for a reason because sometimes some of you have not taken a physics course and you don't know how to do well in physics and slowly you catch on and by the time it's Fina l exam you crack the code; you know how to do well. As far as I'm concerned, that's just fine. If at the end of the semester you take a three-hour exam in a closed environment and you answer everything, I don't care what you did in your homework or your Mi dterm. That's not relevant.

S quan tr ng t ng i c a nh ng th khác nhau này, 20% cho bài t p nhà c a b n, 30% cho kì thi gi a k , s c di n ra vào lúc nào ó trong tháng 10, và 50% kì thi cu i kì. ó s là trung bình tr ng s . Nh ng tôi có m t k ho ch c g i là "K ho ch Ân

xá", trong đó tôi chỉ so sánh i m cu i cùng c a b n, nh ng gì b n làm c kì thi cu i cùng, và b t c cái nào cao h n trong hai cái s c tôi ch n xác nh i m c a toàn khóa h c. ây là i u mà tôi th ng công b g n cu i, nh ng sau ó m t s ng i c m th y r ng n u bi t i u này t u thì t t h n. Vì v y, tôi nói cho b n ngay t u, nh ng ng m và ngh r ng i m cu i kì s khác nhi u v i các ho t ng hàng ngày th ng xuyên c a b n, nh ng cung c p cho b n m t lý do s ng sau khi thi gi a k . Vì v y, b n c m th y có hy v ng. Tôi có th thay i m i th qua êm; i u ó x y ra. Tôi cho r ng i u ó là h p lý b i vì ôi khi m t s b n ã ch n khóa h c v t lý và b n không bi t cách h c t t v t lý và đ n đ n b n b t k p và vào lúc thi cu i kì b n t phá; b n bi t cách làm bài t t. i v i tôi, i u ó t t. N u cu i h c k b n làm m t bài ki m tra ba gi trong m t môi tr ng khép kín và b n tr l i c m i th , tôi không quan tâm n nh ng gì b n ã làm trong bài t p nhà ho c kì thi gi a k c a b n. i u ó thích áng.

So that's how the grading will be done. We have Mara's group of TAs. She is the head TA and she's the one you should write to whenever you have a problem. Then we also have two faculty members. One is a Postdoctoral Fellow, Mark Caprio. So he will have a discussion section on Tuesdays between 1:00-2:00 in Sloane Lab. And Steve Furlanetto-- I don't know if Steve is here or not. There's Steve, our new Assistant Professor. He will have his section on Tuesday night in Dunham Lab, in Room 220. Tuesday night is the night when you people realize homework is due on Wednesday. So we know that, so he will be there to comfort you and give you whatever help you need. All right. My own office hours I've not determined yet. I will have to find out when it is good for you. You know, I live and work out of Sloane Lab up on the hill and it was easy to have office hours before or after class but now you have to make a special trip. So, just give me a little bit of time to find out maybe by soliciting e-mail responses from you what would be a good time for my office hours. But for any procedural things, like, you know, this problem set was not graded properly, and so on, there's no point e-mailing me because I'm going to send it to Mara anyway. So directly deal with the powers that be.

Vì v y, ó là cách ch m i m s c th c hi n. Chúng ta có nhóm tr gi ng c a Mara. Cô y là tr gi ng ng u và cô y là ng i b n nên vì t th n b t c khi nào b n g p khó kh n. R i chúng ta còn có hai thành viên trong khoa. M t ng i là nghiên c u sinh sau ti n s , Mark Caprio. Vì v y, anh y s có m t ph n th o lu n vào th t t 01:00-2:00 trong phòng thí nghi m Sloane. Và Steve Furlanetto - Tôi không bi t Steve có ây hay không. ó là Steve, Giáo s tr lí m i c a chúng ta. Anh y s có ph n c a mình vào êm th ba t i phòng thí nghi m Dunham, phòng 220. T i Th ba là êm khi m i ng i nh n ra bài t p v nhà n h ng n p vào ngày th T . Vì v y, chúng ta bi t r ng, do ó, anh ta ó an i b n và cho b n b t c i u tr giúp gì mà b n c n. c r i. Gi làm vi c c a tôi tôi ch a xác nh. Tôi s ph i tìm ra khi nào là t t cho b n. B n bi t, tôi s ng và làm vi c ngoài phòng thí nghi m Sloane trên m t ng n i và r t đ s p x p gi làm vi c tr c và sau gi h c, nh ng bây gi b n ph i th c hi n m t chuy n i c bi t. Vì v y, hãy cho tôi chút ít th i gian tìm ra có l b ng cách thu th p các ý ki n c a các b n qua mail v th i i m nào s là th i i m t t cho gi làm vi c c a tôi. Nh ng i v i b t k th t c nào, ch ng h n nh , b n ã bi t, x p bài t p này không

c ch m i m h p lí, và vâng vâng..... G i th cho tôi s không có ích gì b i vì dù sao i n a tôi s g i nó cho Mara. Vì v y, hãy gi i quy t tr c ti p trong ph m vi quy n h n.

Okay, finally I want to give you some tips on how to do well in this course and what attitude you should have. First, I advise that you should come to the lectures. It's not self-serving; it's not so much for my benefit. I think there is something useful about hearing the subject presented once orally. Secondly, the book, you can see, one of you had a book here, it's about 1,100 pages and when I learned physics it was, like 300 pages. Now, I look around this room, I don't see anybody whose head is three times bigger than mine, so I know that you cannot digest everything the books have. So I have to take out what I think is the really essential part and cover them in the lecture. So, you come to class to find out what's in and what's not in. If you don't do that, there's a danger you will learn something you don't have to, and we don't want that. Okay, so that's why you come to class.

c r i, cu i cùng tôi mu n cung c p cho b n m t s l i khuyên v cách h c t t trong khóa h c. u tiên, tôi khuyên b n nên n l p nghe gi ng. i u ó không ph i là v l i; nó không có l i ích gì cho tôi. Tôi ngh r ng có i u gì ó h u ích khi nghe nh ng môn h c c gi i thi u m t l n b ng l i. Th hai, các cu n sách, b n có th th y, m t s các b n có sách ây, nó kho ng 1.100 trang và khi tôi h c v t lý, nó kho ng 300 trang. Bây gi , tôi nhìn xung quanh phòng này, tôi không th y b t c ai có u l n h n tôi ba l n, vì v y tôi bi t r ng b n không th ti p thu h t m i th sách nói. Vì v y, tôi ph i rút ra nh ng gì mà tôi ngh là nh ng ph n tr ng y u và c p n chúng trong các bài gi ng. Vì v y, b n n l p h c tìm hi u nh ng gì có và không có trong sách. N u b n không làm i u ó, có m t m i nguy hi m là b n s h c th gì ó mà chúng tôi không yêu c u, và chúng tôi không mu n i u ó. c r i, vì th ó là lý do t i sao b n nên n l p.

Second thing, most important thing for doing well in physics, is to do the homework. The 20% given to the homework is not a real measure of how important it is. Homework is when you really figure out how much you know and don't know. If you watch me do the thing on the blackboard, it looks very reasonable. It lo oks like you can do it but the only way you're going to find out is when you actually deal with the problem. That's the only time you're going to find out. So, I ask you to do the problems as and when they're posted. So if I post it on Wednesday to cover the material for that week, then you should attempt it as quickly as possible because I'm going to assume you have done the problems when you come for the next few lectures. And in doing the homework, it is perfectly okay to work in groups. You don't have to do it by yourself. That's not how physics is done. I am now writing a paper with two other people. They are my experimental colleagues who write papers with 400 other people, maybe even 1, 000 other people. When they do the big collider experiments in Geneva or Fermilab, collaborations can run into hundreds. So, it's perfectly okay to be part of a collaboration, but you've got to make sure that you're pulling your weight. You've got to make sure that if you explain to others how to do this problem, then somebody else contributes to something else, but you know what everybody contributed in the end. So the game is not just to somehow or other get

the solution to the problem set but to fully understand how it's done, and the TAs will be there to help you.

Thứ hai, quản trị học tập, là làm các bài tập nhà. 20% cho bài tập nhà không phải là thời gian quan trọng của nó. Bài tập về nhà của bạn giúp bạn suy ra các bài tập bao nhiêu và không bao nhiêu. Nếu bạn xem tôi làm một bài trên bảng, nó trông rất hợp lý. Nhưng bạn có thể làm nó như khi bạn thức dậy mà bạn không thể làm được. Đó là lúc duy nhất bạn thức dậy. Vì vậy, tôi yêu cầu bạn phải làm những bài tập ngay khi chúng còn sáng. Vì vậy, nếu tôi gọi nó lên vào ngày Thứ hai thì các vấn đề của bạn trong tuần này, sau đó bạn nên cố gắng làm nó càng nhanh càng tốt, vì tôi sẽ sẽ nhận được các bài tập đó khi bạn nghe các bài giảng tiếp theo. Và trong khi làm các bài tập về nhà, các bạn nên làm việc theo nhóm. Bạn không cần phải làm chúng một mình. Đó không phải là cách mà vật lý thực hiện. Hiện tại tôi đang viết bài báo cùng với hai người khác. Họ là những người nghiên cứu thí nghiệm của tôi như người viết báo cùng với khoảng 400 người khác, thậm chí 1,000 người khác. Khi họ làm thí nghiệm máy gia tốc tại Geneva hoặc Fermilab, sẽ có thể lên hàng trăm. Vì vậy, hoàn toàn tập trung thành một phần của các tác phẩm, những bạn phải chắc chắn rằng bạn đã làm phần công việc của bạn. Bạn phải làm những người bạn thích cho những người khác cách làm những bài tập này, thì người khác sẽ đóng góp vào cái gì khác, những người cùng bạn biết những gì mình đã đóng góp. Vì vậy, hãy nhóm không chỉ là những người bạn của bạn mà còn phải hiểu nó để làm những thứ này, và các trợ giảng sẽ giúp bạn.

Every day there's going to be a TA in the undergraduate lounge. I would urge you to use that. That's a beautiful new lounge that the Provost's Office allowed us to build for physicists and chemists, or whoever happens to be in the building. If you go there on the third floor of Sloane, you may run into other people like you who are trying to work on problems. You may run into upper-class students, students who are more advanced, you will run into your TA. So that's a good climate. There are coffee machines and there are lounge sofas and everything else. There are computers, there are printers, so it's a good lounge, and I think if you go there one day a week to do your problem sets, more often that's a good meeting place, I recommend that.

Mỗi ngày sẽ có một trợ giảng trong sảnh học. Tôi khuyến khích bạn đến đây. Đó là một phòng mới mà phòng giáo vụ cho phép chúng ta xây dựng cho các nhà vật lý và hóa học, hoặc bất cứ ai ngẫu nhiên trong tòa nhà. Nếu bạn đi lên tầng thứ ba của Sloane, bạn có thể ngẫu nhiên gặp người khác gì như bạn đang cố gắng làm các bài tập. Bạn có thể gặp các sinh viên lớp trên, các sinh viên học trên bạn, bạn sẽ gặp ngẫu nhiên trợ giảng của bạn. Vì vậy, đó là một môi trường tốt. Có máy pha cà phê và có ghế sofa mềm và thoải mái khác. Có máy tính, có máy in, vì vậy nó là một phòng tốt, và tôi khuyên bạn nên đến đây mỗi ngày để làm các bài tập, thông thường đó là một ngày tốt, tôi khuyên bạn.

The final piece of advice, this is very important so please pay attention to this, which is, I ask you not to talk to your neighbors during lecture. Now, this looks like a very

innocuous thing, but you will find out, it is the only thing that really gets my back up. Most of the time I don't really care. I'm really liberal, but this disturbs me because I am looking at you, I'm trying to see from your reaction how much of my lecture you are following, and then it's very distracting when people are talking. So please don't do that. If you talk, I am going to assume you are talking about me. If you laugh, I'm going to assume you are laughing at me. That's not really what I think, but that's how disturbing it is when people talk, and very nice students who do not realize this often disrupt my line of thinking. So I ask you to keep that to a minimum. Once in a while you'll have to talk to your neighbor and say, "Can you please pass me my pacemaker that fell down?" That's fine. Then you go back to your business. But don't do too much of that.

L i khuyên c u i cùng, i u này r t quan tr ng vì v y hãy chú ý n i u này, ó là, tôi yêu c u b n không nói chuy n v i ng i ng i c nh b n khi tôi ang gì ng. Á, i u này có v nh là m t i u vô h i, nh ng b n s nh n ra, ó là i u duy nh t th c s làm tôi b c b i. Nhi u l n tôi không th c s quan tâm. Tôi th t s r ng rãi, nh ng i u này làm phi n tôi b i vì tôi ang nhìn b n, tôi ang c g ng suy ra t ph n ng c a b n xem b n n m c bao nhiêu trong nh ng gì tôi nói, và do ó r t r i trí khi các b n ang nói. Vì v y, xin ng làm i u ó. N u b n nói chuy n, tôi s ngh b n ang nói v tôi. N u b n c i, tôi s ngh b n ang c i tôi. i u ó không th c s nh nh ng gì tôi ngh , nh ng i u ó cho th y nó phi n nh th nào khi m i ng i nói chuy n, và các sinh viên r t p không nh n ra i u này th ng làm gián o n dòng suy ngh c a tôi. Vì v y, tôi yêu c u b n h n ch i u ó n m c t i thi u. ôi khi b n s ph i nói v i ng i ng i g n b n, "b n có th vui lòng chuy n cho tôi máy tr tim ã b r i xu ng không?" i u ó t t. Sau ó b n quay tr l i v i công vi c. Nh ng ng làm i u ó nhi u l n.

Finally, there is this ancient issue about sleeping in class. Now, my view is, it's just fine, okay. I know you guys need the rest and interestingly, the be st sleepers are in the first couple of rows. I haven't met you guys. It's not personal. I have found some people really have to come to the first and second row because they claim that if they don't hear me they cannot really go to sleep. Now, that was true in Sloane but I think Luce has got very good acoustics so you can stretch out in the back. But my only criterion is if you talk in your sleep, now that's not allowed because talking is not allowed. Next, if you're going to sleep, I ask you to sit between two non-sleepers because sometimes what happens, the whole row will topple over. We don't want the domino effect. Now, it's going to be captured on tape and that's going to be really bad for my reputation, so spread yourself around other people. All right. So that's it in terms of class, you know, logistics and everything.

Cu i cùng, có m t v n c x a v ng trong l p h c. Bây gi , quan i m c a tôi là, i u ó t t, c. Tôi bi t các b n c n ngh ng i và thú v , n i ng t t nh t là hai dẫy u tiên. Tôi ch a g p b n. i u ó không ph i mang tính cá nhân. Tôi ã nh n th y m t s ng i th c s ph i n các dẫy bàn th nh t và th hai vì h xác nh n r ng n u h không nghe tôi nói h th c s không th ng c. Bây gi , i u ó úng Sloane nh ng tôi ngh r ng Luce có vang âm vì v y b n có th th giãn phía sau. Nh ng tiêu chí duy nh t c a tôi là n u b n m trong lúc ng , hi n t i i u ó không c phép vì nói chuy n là không c phép. Ti p theo, n u b n s p ng , tôi yêu c u b n ph i ng i gi a hai ng i

không ng b i vì th nh tho ng có i u gì x y ra, nh ng ng i trong bàn s lay b n d y. Chúng tôi không mu n hi u ng domino. Hi n t i l p h c s c ghi âm ghi hình và nh ng vì c ó th c s không t t cho danh ti ng c a tôi, vì v y hãy hi u cho ng i khác. c r i. Vì v y, ó là i u kho n trong l p h c, b n ã bi t, h u c n và t t c m i th .

I'm going to start going into the physics proper. I will try to finish every lecture on time, but sometimes if I'm in the middle of a sentence or the middle of a derivation, I may have to go over by a couple of minutes; there's no need to shuffle your feet and move stuff around. I know what time it is. I also want to get out like you guys, but let me finish something. Other days I may finish a few minutes before time. That's because the ideas of physics don't fall into 75-minute segments and sometimes they spill over a little bit. Also, I'm used to teaching this course three times a week and now it's suddenly twice a week, and so things that fell into nice 50-minute units are now being snipped up different ways so it's pretty difficult. So, even for me, some of it will be new and the timing may not be just right. I should tell you first of all that in this class, the taping is not going to affect you because the camera is going to be behind your head. I mentioned to you in the website that this is not the big opportunity you've been looking for to be a star. Only the back of your head will be seen. In some cases, the back of the head could be more expressive than the front, in which case this is your opportunity and I wish you luck. B ut otherwise, just don't worry about it because you will be only heard. You may not even be heard. So, I've been asked that if a question is not very clear, I should repeat it so that people listening to it later will know what the question was.

Tôi s b t u i vào n i dung chính c a v t lý. Tôi s c g ng hoàn thành m i bài gi ng úng gi , nh ng ôi khi n u tôi gi a m t câu ho c ang gi a m t quá trình suy lu n, tôi có th s ph i tr gi vài phút; không c n ph i lê chân c a b n ho c di chuy n th gi ó lòng vòng. Tôi bi t m y gi . Tôi c ng mu n v gi ng nh b n nh ng hãy tôi hoàn thành m i th . Nh ng hôm khác tôi có th hoàn thành bài gi ng tr c th i gian vài phút. ó là b i vì nh ng ý t ng v t lý không r i vào phút th 75 và ôi khi chúng tràn ra m t chút. T ng t , tôi ã quen d y môn này ba bu i m t tu n và bây gi thình lình nó c x p hai bu i m t tu n, và do ó nh ng th r i vào phút th 50 p bây gi s b c t ra theo nh ng cách khác nhau và h i khó cho tôi. Vì v y, ngay c i v i tôi, m t s trong nó s là m i và cách nh th i s không chính xác. Tôi nên nói cho b n bi t tr c h t trong l p này, vì c ghi hình s không nh h ng n b n vì máy nh phía sau u c a b n. Tôi ã nói v i b n trên trang web r ng ây không ph i là c h i l n b n tr thành ngôi sao. Ch phía sau u c a b n c nhìn th y. Trong m t s tr ng h p, phía sau u có th gây n t ng h n phía tr c, trong tr ng h p này ây c h i c a b n và tôi chúc b n may m n. Nh ng ng c l i, ng lo l ng b i vì ch có u c a b n c quay phim. Có th không th y u c a b n. Vì v y, tôi ã c yêu c u là n u m t câu h i không rõ ràng, tôi nên l p l i nó m i ng i nghe nó l n sau bi t câu h i là gì.

Let me make one thing very clear. That is, I'm not in favor of your ta lking to each other because you're distracting. Your stopping me at any time is just fine. I welcome that because I've seen this subject for God knows how many years. The only thing that makes it different for me is the questions that you people have. You can stop me any time and you should not feel somehow you are stopping the progress of the class. There is no fixed



syllabus. We can move things around and it's far more exciting for me to answer your questions than to have a monologue. So, don't worry about that. So stop me anytime you don't follow something, and don't assume that you're not following something because there's something wrong with your level of comprehension. Quite often, you guys come up with questions that never cross my mind, so it's very interesting. And things we've been repeating year after year after year, because they sound so reasonable, suddenly sound unreasonable when some of you point out some aspect of it that you didn't follow. So, it could be very interesting for all of us to have issues to discuss in class, and quite often some questions are very common and your classmates will be grateful to you that you brought it up. Otherwise, you know, TAs get ten e-mails, all with the same question. Okay. So I'm going to start now. Anybody have any questions about class? The format? The Midterm? The exams? All right. Yes?

Hãy tôi làm rõ m t chuy n. ó là, tôi không thích các b n nói chuy n v i nhau vì khi ó các b n b phân tâm. B n có th ng t l i tôi t câu h i lúc nào c ng c. Tôi hoan nghênh i u ó vì trong bao nhiêu n m nay tôi nh n th y r ng môn này dành cho chúa bi t. i u duy nh t làm cho nó khác i v i tôi là nh ng câu h i c a các b n. B n có th ng t l i tôi b t c lúc nào t câu h i và b n ng ngh b ng cách ó b n ang làm ch m l i t i n h c t p c a l p. Không có ch ng trình h c c nh. Chúng ta có th xê d ch m i th và i v i tôi tr l i câu h i c a các b n s thú v h n nhi u so v i c tho i m t mình. Vì v y, ng lo l ng v i u ó. Vì v y, hãy d ng tôi l i b t c lúc nào b n không theo k p th g i ó, và ng ngh r ng b n không theo k p th g i ó là do nó v t quá t m nh n th c c a b n. Khá th ng xuyên, các b n a ra nh ng câu h i tôi ch a t ng ngh n, vì v y r t thú v. Và nh ng th mà chúng tôi l p l i n m này qua n m n, b i vì chúng có v quá h p lí, t nhiên có v không h p lí khi m t s trong các b n ch ra m t khía c nh nào ó c a nó mà b n ã không theo k p. Vì v y, i v i t t c chúng ta có th r t thú v th o lu n trong l p, và khá th ng xuyên m t s câu h i r t ph b i n và b n h c cùng l p c a b n s bi t n b n vì b n ã a nó lên. N u không, b n bi t, các tr g i ng s nh n c 10 e-mail, có cùng m t n i dung. c r i. Tôi s b t u ngay bây gi. Có ai có b t kì câu h i nào v i v i c t ch c l p h c không? Hình th c? Thi gi a kì? Các bài ki m tra? À vâng?

**Student:** You said there's going to be two hours to be announced. How do we wait for [inaudible]

Th y nói s có hai gi nh n c thông báo. T i em ch nh th nào

**Professor Ramamurti Shankar:** Oh, you mean my office hours?

, ý b n mu n nói n gi làm v i c c a tôi à?

**Student:** No. I thought there was an [inaudible]

D không. Em ngh ó là

**Professor Ramamurti Shankar:** No, the discussion sections are Tuesday afternoon from 1:00-2:00, and Tuesday night from 8:00-10:00, and the website has got all the details on when and where. Yes?

Không, các phần thảo luận từ 1:00 đến 2:00 vào chiều thứ ba và đêm thứ ba từ 8:00-10:00, và trên trang web sẽ có tất cả các chi tiết về thời gian và địa điểm. Đúng không?

**Student:** So the lab times will still be [inaudible]

Vì vậy thì khóa buổi thực hành phòng thí nghiệm sẽ vẫn là

**Professor Ramamurti Shankar:** Yeah. There are many, many lab times and you have to go to the website for the lab. And, by the way, that reminds me. I've got here lots of flyers given to me by the director of the laboratories which will tell you which lab is the right lab for you, and they're offered many times a week. Yes?

Vâng. Có rất nhiều, nhiều buổi thực hành và bạn phải nhìn trang web của phòng thí nghiệm. Và, nhân đây, tôi quên nhắc tới. Đây tôi có rất nhiều tờ rơi cho tôi biết giám sát phòng thí nghiệm sẽ cho bạn biết phòng thí nghiệm nào là phòng thí nghiệm phù hợp với bạn, và chúng tôi cung cấp nhiều lần một tuần. Vâng?

**Student:** As far as knowing the material, just from your class, how important is taking a lab concurrent with this class?

Trong chương trình chi tiết tài liệu, ngay cả trên lớp, bạn nên tham gia phòng thí nghiệm ngay thì việc đi học này quan trọng như thế nào?

**Professor Ramamurti Shankar:** I think it's a good idea to take the lab, particularly in this particular class because I don't have any demonstrations. They're all in the other building. So, this will remind you that physics is, after all, an experimental science and you will be able to see where all the laws of physics come from. So, if you're going to take it, you should take it at the same time. Yes?

Tôi nghĩ rằng bạn nên tham gia phòng thí nghiệm là một ý tưởng tốt, đặc biệt là lớp học của bạn vì tôi không có bất kỳ thí nghiệm trình diễn nào. Tất cả chúng tôi ở trong tòa nhà khác. Vì vậy, điều này sẽ nhắc nhở bạn rằng xét cho cùng vật lý là một khoa học thực nghiệm và bạn sẽ có thể hiểu được nguồn gốc của tất cả các định luật vật lý. Vì vậy, nếu bạn định tham gia nó, bạn nên tham gia cùng một lúc. Vâng?

**Student:** Could you please talk about when you expect [inaudible]

Thầy có thể nói về những gì thầy mong đợi chúng em

**Professor Ramamurti Shankar:** Ah, very good. This is a calculus-based class and I expect everyone to know at least the rudiments of differential calculus. What's a function, what's a derivative, what's a second derivative, how to take derivatives of elementary

functions, how to do elementary integrals. Sometime later, I will deal with functions of more than one variable, which I will briefly introduce to you, because that may not be a prerequisite but certainly something you will learn and you may use on and off. But there are different ways of doing physics. Mine is to demonstrate over and over how little mathematics you need to get the job done. There are others who like to show you how much mathematics you could somehow insinuate into the process, okay.

Ah, right. Đây là môn học dựa trên tính toán và tôi hy vọng tất cả mọi người phải biết ít nhất các nguyên lý cơ bản của các phép tính vi tích phân. Hàm là gì, đạo hàm là gì, đạo hàm bậc hai là gì, cách lấy đạo hàm của hàm mũ, cách lấy tích phân của mũ. Những thông tin sau này, chúng ta sẽ gặp những hàm nhiều biến, tôi sẽ nghĩ thì chúng ta sẽ biết một cách vắn tắt, vì nó có thể không phải là cái cần biết trước, nhưng chắc chắn nó là kiến thức cần học và bạn có thể sẽ dùng chúng xuyên suốt. Nhưng có những cách khác làm vật lý. Tôi sẽ chỉ nghĩ cho bạn thì vật lý toán học cần bạn hoàn thành một phần là ít nhất nào. Trong khi có những người khác sẽ cho bạn thì vật lý toán học mà bạn cần hoàn thành công việc của bạn là nhiều nhất nào, đúng không.

There are different ways of playing the game, and some of us find great pride in finding the most simple way to understand something. That's certainly my trademark; that's how I do my research also. So, if you feel there's not enough math used, I guarantee you that I certainly know enough eventually to snow the whole class, but that's not the point. I will use it in moderation and use it to the best effect possible rather than use it because it is there. Okay. So I don't know your mathematical background, but the textbook has an appendix, which is a reasonable measure of how much math you should know. You've got to know your trigonometry, you've got to know what's a sine and what's a cosine. You cannot say, "I will look it up." Your birthday and social security number is what you look up. Trigonometry functions you know **all the time**. Okay. I will ask you, and you do. All right. And of course, there's trigonometric identities you know from high school. Pages and pages of them, so no one expects you to know all those identities, but there are a few popular ones we will use. All right. Anything else? Yes?

Có nhiều cách khác nhau chơi trò chơi, và một số người trong chúng ta cảm thấy kiêu hãnh trong việc tìm ra cách nghĩ như thế này thì gì đó. Đó chắc chắn là nhân hi vọng của tôi, đó là cách tôi làm nghiên cứu của tôi. Vì vậy, nếu bạn cảm thấy toán học sẽ dễ dàng hơn, tôi muốn bạn rằng tôi chắc chắn hiểu nó cùng làm phần phần của lớp, nhưng nếu nó không có ích gì. Tôi sẽ sử dụng nó một cách vắn tắt và sử dụng nó cho các mục đích có ích chứ không phải sử dụng nó vì nó là nhất. Cri. Vâng, tôi không biết những toán học của các bạn, nhưng sách giáo khoa có một phần, nó là một phần của lý cho bạn biết bạn nên biết toán học của mình nào. Bạn phải biết tính góc, bạn phải biết sin là gì và cos là gì. Bạn không thể nói, "tôi tra nó." Ngày sinh nhật của bạn và số an sinh xã hội là những gì bạn cần tra. Còn các hàm lượng giác là những thứ bạn luôn luôn phải biết. Cri. Tôi sẽ yêu cầu bạn, và bạn làm. Cri. Và dĩ nhiên, có những người nghĩ rằng tính góc mà bạn biết trước trong học. Right. Right. Nhiều trang, vì vậy không ai muốn bạn phải biết tất cả những người nghĩ rằng tính góc này, nhưng có một số cái phải biết mà chúng ta sẽ dùng. Cri. Còn gì nữa không? Vâng?

**Student:** This may be a bit early, but when will we be having our Midterm?

Hiện tại em hỏi có lẽ là hỏi là em muốn biết là khi nào thi giữa kỳ?

**Professor Ramamurti Shankar:** Yeah. Midterm will be sometime around 20th of October. I have to find out exactly the right time. We have 24 lectures for this class and the first 12 roughly will be part of the Midterm, but after the 12th lecture I may wait a week so that you have time to do the problems and get the solutions. Then I will give you the Midterm. Yes?

Vâng. Kỳ thi giữa kỳ sẽ diễn ra vào một lúc nào đó quanh ngày 20 tháng 10. Tôi phải tìm ra chính xác thời điểm thích hợp. Chúng ta có 24 bài giảng trong toàn bộ khóa học và khoảng 12 bài đầu tiên nằm trong nội dung thi giữa kỳ, nhưng sau bài giảng thứ 12 Tôi có thể chậm trễ một chút để các bạn có thời gian làm các bài tập và nhận câu trả lời. Sau đó, tôi sẽ cho các bạn thi giữa kỳ. Vâng?

**Student:** If wanting one of the two lab courses, which one do you recommend?

Nếu chọn một trong hai khóa học thực hành trong phòng thí nghiệm, thì bạn nên chọn khóa nào?

**Professor Ramamurti Shankar:** Yeah, this tells you in detail. This flyer answers exactly that. Okay, there was one more question from somebody? Yes?

Vâng, cái này sẽ cho bạn biết chi tiết. Trả lời này sẽ trả lời chính xác câu hỏi đó cho bạn. Còn lại, có thêm một câu hỏi khác không? Vâng?

**Student:** A few people I've talked to have recommended that we start taking the lab second semester instead of first. Would that be advisable or should we take both concurrently?

Vài người em trò chuyện đã khuyên rằng chúng ta nên bắt đầu chọn phòng thí nghiệm vào học kỳ thứ hai thay vì học kỳ đầu tiên. Vậy ý kiến đó là đúng hay chúng em nên chọn cả hai một cách đồng thời?

**Professor Ramamurti Shankar:** I don't have a strong view. I think you should take the lab sometime but I don't know how many semesters that you have to take. But I would say the advice of your predecessors is very important. If they tell you this is what works, that's better than what somebody like me can tell you. Also, you should talk to Stephen Irons, who is the director of the labs. He has seen every possible situation. He will give you good advice.

Tôi không có một quan điểm dứt khoát về vấn đề này. Tôi nghĩ bạn nên chọn phòng thí nghiệm vào lúc nào đó nhưng tôi không biết có bao nhiêu học kỳ mà bạn phải chọn. Nhưng tôi sẽ nói với bạn rằng lời khuyên của những người đi trước rất quan trọng. Nếu bạn hỏi ai đó là đúng hay không, thì bạn nên hỏi người đó, vì họ đã từng trải qua mọi tình huống có thể xảy ra và họ sẽ đưa ra lời khuyên tốt.

tôi nói về bạn. Ngoài ra, bạn nên nói chuyện với Stephen Irons, giám đốc phòng thí nghiệm. Ông ấy sẽ thay đổi tình huống có thể. Ông ấy sẽ cho bạn một số lời khuyên tốt.

Let's start now. Okay. So we are going to be studying in the beginning what's called Newtonian mechanics. It's pretty remarkable that the whole edifice is set up by just one person – Newton -- and he sent us on the road to understanding all the natural phenomena until the year 18-hundred-and-something when Maxwell invented the laws of electromagnetism and wrote down the famous Maxwell equations. Except for electromagnetism, the basics of mechanics, which is the motion of billiard balls and trucks and marbles and whatnot, was set up by Newton. So that's what we are going to focus on, and you will find out that the laws of physics for this entire semester certainly can be written on one of those blackboards or even half of those blackboards.

Bây giờ chúng ta hãy bắt đầu. Trước tiên, chúng ta sẽ bắt đầu nghiên cứu về cơ học Newton. Sự thật khác thường của toàn bộ môn học này là nó được xây dựng bởi chỉ một người - Newton - và ông đã đưa chúng ta đến con đường hiểu biết về tất cả các hiện tượng tự nhiên cho đến tận năm 1800 là lúc Maxwell phát minh ra các định luật điện từ và viết ra các phương trình Maxwell nổi tiếng. Ngoài trọng lực, các nguyên tắc cơ bản, như sự chuyển động của các quả bóng bida và xe trượt tuyết và các viên bi và bóng chày, đều dựa trên cơ học Newton. Vì vậy, đó là những gì mà chúng ta sẽ tập trung vào, và bạn sẽ nhận thấy rằng các định luật vật lý của toàn bộ học kỳ này chỉ cần có thể viết trên một bảng trong phòng thí nghiệm này hoặc thậm chí phân nửa của bảng này.

And the purpose of this course is to show you over and over and over again that starting with those one or two laws, you can deduce everything, and I would encourage you to think the same way. In fact, I would encourage you to think the way physicists do, even if you don't plan to be a physicist, because that's the easiest way to do this subject, and that is to follow the reasoning behind everything I give you. And my purpose will be not to say something as a postulate, but to show you where everything comes from, and it's best for you if you try to follow the logic. That way, you don't have to store too many things in your head. In the early days when there are four or five formulas, you could memorize all of them and you can try each one of them until something works, but after a couple of weeks you will have a hundred formulas and you cannot memorize all of them. You cannot resort to trial and error. So you have to know the logic. So the logical way is not just the way the physicists do it, it's the easier way to do it. If there is another way that it will work for non-physicists, I won't hesitate to teach it to you that way if that turns out to be the best way. So try to follow the logic of everything. Okay.

Và mục đích của khóa học này là để cho bạn lập luận và suy nghĩ về những định luật này, bạn có thể suy ra tất cả mọi thứ, và tôi khuyến khích bạn suy nghĩ theo cùng một cách. Trong thực tế, tôi sẽ khuyến khích bạn nghĩ theo cách các nhà vật lý học, cho dù bạn không có dự định trở thành nhà vật lý, bởi vì đó là cách đúng đắn nhất của môn học này, và đó là theo dõi lập luận ngay sau khi tôi cung cấp cho bạn. Và mục đích của tôi sẽ không phải là nói mọi thứ như những nhà vật lý, mà để cho bạn biết nó như thế nào, và sẽ tập trung cho bạn vào việc suy nghĩ theo logic. Bằng cách đó, bạn không cần phải nhớ quá nhiều thứ trong đầu. Trong những ngày đầu tiên khi có những học sinh mới

công thức, bạn có thể ghi nhớ tất cả chúng và bạn có thể thử nghiệm trong sự chúng cho  
nhiều khi như thế, nhưng sau một vài tuần bạn sẽ cảm thấy công thức và bạn không thể  
nhớ tất cả chúng. Bạn không thể dùng phương pháp sai. Vì vậy, bạn phải biết logic.  
Vì vậy, cách logic không phải chỉ là cách các nhà vật lý làm nó, đó là cách bạn nghĩ  
làm nó. Nếu có một cách khác ứng cho những gì không phải nhà vật lý, tôi sẽ  
không ngần ngại dạy cho bạn cách đó nếu đó là cách tốt nhất. Vì vậy, hãy theo dõi  
logic của mình để chắc chắn.

So, Newtonian mechanics is our first topic. So, Newtonian mechanics has two parts. All  
of physics is a two-part program. The plan, every time, is to predict the future given the  
present. That's what we always do. When we do that right, we are satisfied. So the  
question is, "What do you mean by 'predict the future?'" What do you mean by the  
future? What do you mean by the present? By "present," we mean --we will pick some  
part of the universe we want to study and we will ask, "What information do I need to  
know for that system at the initial time, like, right now, in order to be able to predict the  
future?" So, for example, if you were trying to study the motion of some object, here is  
one example.

Vì vậy, cách của Newton là chủ yếu tiên của chúng ta. Vâng, cách của Newton có hai  
phần. Một môn vật lý là một chương trình hai phần. Thông thường, mục tiêu là dự  
 đoán lại dựa trên hiện tại. Đó là những gì chúng ta luôn luôn làm. Khi chúng ta làm  
đúng, chúng ta hài lòng. Vì vậy, câu hỏi là, "Bạn muốn nói gì qua công thức 'd  
 đoán lại?'" Bạn muốn nói gì qua tất cả đoán lại? Bạn muốn nói gì qua hiện tại?  
Qua "Hiện tại," chúng ta muốn nói - chúng ta sẽ chọn một số phần của vật thể  
chúng ta muốn nghiên cứu và chúng ta sẽ hỏi, "thông tin gì tôi cần biết về hành động  
tức thì hiện tại của bạn, ví dụ, ngay bây giờ, có thể dự đoán lại?" Vì vậy, ví dụ,  
nếu bạn thả kẹo nghiên cứu chuyển động của một vật thể nào đó, đây là một ví dụ.

[throws a piece of candy for someone to catch]

**Professor Ramamurti Shankar:** See, that's an example of Newtonian mechanics. I'll  
give you one more demonstration. Let's see who can catch this one.

Thầy ạ, đó là một ví dụ về cách của Newton. Tôi sẽ cho bạn thêm một trình diễn nữa. Hãy  
xem ai có thể bắt được cái này.

[throws another piece]

**Professor Ramamurti Shankar:** That's a good example. So, that was Newtonian  
mechanics at work, because what did I do? I released a piece of candy, threw it from my  
hand, and the initial conditions have to do with where did I release it and with what  
velocity. That's what he sees with his eyes. Then that's all you really need to know. Then  
he knows it's going to go up, it's going to curve, follow some kind of parabola, then his  
hands go there to receive it. That is verification of a prediction. His prediction was, the  
candy's going to land here, then he put his hand there. He also knew where the candy was  
going to land, but he couldn't get his hand there in time. But we can always make

predictions. But this is a good example of what you need to know. What is it you have to know about this object that was thrown, I claim, is the initial location of the object and the initial velocity. The fact that it was blue or red is not relevant, and if I threw a gorilla at him it doesn't matter what the color of the gorilla is, what mood it is in. These are things we don't deal with in physics.

ó là m t ví d t t. Hi n t ng ó b chi ph i b i c h c Newton, b i vì tôi ã làm gì? Tôi th m t mi ng k o, ném nó t tay tôi, và các i u ki n ban u là tôi ném nó âu và v i v n t c bao nhiêu. ó là nh ng gì mà anh y th y qua m t mình. Do ó, ó là t t c nh ng th b n th c s c n ph i bi t. Sau ó, anh y bi t nó s i lên, nó s u n cong, theo m t lo i parabol nào ó, sau ó tay c a anh ta s a n ó ch p nó. ó là s xác minh m t d oán. D oán c a anh y là, k o s r i xu ng t ây, nên anh y s t tay ó. Anh y c ng bi t k o s r i xu ng t âu, nh ng anh y không th a tay n ó k p. Nh ng chúng ta luôn luôn có th d oán. Nh ng ây là m t ví d t t v nh ng gì b n c n bi t. Nh ng gì b n c n bi t v v t th b ném, tôi xác nh n, là v trí ban u c a v t th và v n t c ban u. Th c t là nó màu xanh hay gì không quan tr ng, và n u tôi ném m t con kh gorilla vào anh ta thì màu c a con kh là gì, tâm tr ng c a nó ra sao không quan tr ng. ây là nh ng i u chúng ta không gi i quy t trong v t lý.

There is a tall building, a standard physics problem. An object falls off a tall building. Object could be a person. So we don't ask why is this guy ending it all today? We don't know, and we cannot deal with that. So we don't answer everything. We just want to know when he's going to hit the pavement, and with what speed. So we ask very limited questions, which is why we brag about how accurately we can predict the future. So, we only ask limited goals and we are really successful in satisfying them. So, we are basically dealing with inanimate objects.

Có m t tòa nhà cao, m t bài toán v t lý tiêu chu n. M t v t r i xu ng t m t tòa nhà cao. V t th ó có th là m t ng i. Vì v y, chúng ta ng h i t i sao gã này k t thúc t t c m i th vào ngày hôm nay? Chúng ta không bi t, và chúng ta không th gi i quy t i u ó. Vì v y, chúng ta không tr l i m i th. Chúng ta ch mu n bi t anh ta s ch m v a hề khi nào, và v i t c bao nhiêu. Vì v y, chúng ta h i nh ng câu h i r t h n ch, ó là lí do t i sao chúng ta khoe khoang v vì c chúng ta có th d oán t ng lai chính xác nh th nào. Vì v y, chúng ta ch t m c tiêu h n ch và chúng ta th c s thành công khi thỏa mãn chúng. Vì v y, v c b n chúng ta làm vì c v i các v t th vô tri vô giác.

So the product of Newtonian mechanics of predicting the future gi ven the present, has got two parts, and one is called kinematics and the other is called dynamics. So, kinematics is a complete description of the present. It's a list of what you have to know about a system right now. For example, if you're talking about the chalk--if I throw the chalk, you will have to know where it is and how fast it's moving. Dynamics then tells you why the object goes up, why the object goes down and why is it pulled down and so on. That's dynamics. The reason it comes down is gravity is pulling it. In kinematics, you don't ask the reason behind anything. You simply want to describe things the way they are and then dynamics tells you how they changed and why they changed.

Vì vậy, các số nhân phẩm của các học Newton và d... toán... lại dựa trên hình ảnh, có hai phần, và một là... và cái kia là... Vì vậy, ... là một hoàn chỉnh về hình ảnh. Đó là một danh sách những gì bạn cần biết về... ngay bây giờ. Ví dụ, Newton nói về viên đạn - nếu tôi ném viên đạn, bạn sẽ biết nó... và nó di chuyển nhanh như thế nào. Sau đó... cho chúng ta biết... sao... thì... lên, ... sao... thì... xu... và... sao... nó... kéo... xu... và... Đó là... Trong... bạn không... lý do... sau... gì. Bạn... gì... mô... cách... chúng... và... cho... chúng... thay... và... thay... .

So, I'm going to illustrate the idea of kinematics by taking the simplest possible example. That's going to be the way I'm going to do everything in this course. I'm going to start with the simplest example and slowly add on bells and whistles and make it more and more complicated. So, some of you might say, "Well, I've seen this before," so maybe there is nothing new here. That may well be. I don't know how much you've seen, but quite often the way you learned physics earlier on in high school is probably different from the way professional physicists think about it. The sense of values we have, the things that we get excited about are different, and the problems may be more difficult. But I want to start in every example, in every situation that I explain to you, with the simplest example, and slowly add on things.

Vì vậy, tôi sẽ minh họa ý tưởng của... cách... ví dụ... . Đó là cách mà tôi sẽ làm... trong khóa học này. Tôi sẽ... ví dụ... và... thêm vào... và làm cho nó ngày càng... Vì vậy, ... nói, "Vâng, tôi đã nhìn thấy... ", vì vậy có... không có gì... . Có thể... Tôi không... , nhưng... cách mà... là khác... cách mà các nhà... suy nghĩ... Ý... mà chúng tôi có, ... gây... khác, và... khó... . Nhưng tôi... ví dụ, trong... mà tôi... , và... thêm vào... .

So, what we are going to study now is a non-living object and we're going to pick it to be a mathematical point. So the object is a mathematical point. It has no size. If you rotate it, you won't know. It's not like a potato. You take a potato, you turn it around, it looks different. So, it's not enough to say the potato is here. You've got to say which way the nose is pointing and so on. So, we don't want to deal with that now. That comes later when we study what we call "rigid bodies". Right now, we want to study an entity which has no spatial extent. So just a dot, and the dot can move around all over space. So we're going to simplify that too. We're going to take an entity that lives along the  $x$  axis.

Vì vậy, những gì chúng ta sẽ nghiên cứu trong hình ảnh là... không... và chúng ta... là... toán học. Vì vậy, ... là... toán học. Nó không có kích thước. Newton xoay nó, bạn không... Nó không... khoai tây. Bạn... khoai tây, bạn xoay nó, nó có... khác nhau. Vâng, không... thì... nói... . Bạn... cái... theo cách nào và... Vì vậy, chúng tôi không



mu n gi i quy t i u ó ngay bây gi . i u ó s xu t hi n sau này khi chúng ta nghiên c u "các v t th r n ". Ngay bây gi , chúng tôi mu n nghiên c u m t th c th không có kích th t không gian. Vì v y, ch là m t đ u ch m, và đ u ch m có th di chuy n xung quanh kh p không gian. Vì v y, chúng ta s n gi n hóa i u ó n a. Chúng ta s ch n m t th c th di chuy n đ c theo tr c x.

[draws a line with integrals]

It moves along a line. So you can imagine a bead with a wire going through it and the bead can only slide back and forth. So, this is about the simplest thing. I cannot reduce the number of dimensions. One is the lowest dimension. I cannot make the object simpler than being just a mathematical point. Then, you've got to say, "What do I have to know about this object at the initial time? What constitutes the present, or what constitutes maximal information about the present?" So what we do is we pick an origin, call it zero, we put some markers there to measure distance, and we say this guy is sitting at 1, 2, 3, 4, 5. He is sitting at  $x = 5$ . Now, of course, we've got to have units and the units for lengths are going to be meters. The unit for time will be a second, and time will be measured in seconds. Then we'll come to other units.

Nó di chuy n đ c theo m t ng th ng. Vì v y, b n có th t ng t ng m th t v i m t dây i qua nó và h t ch có th tr t qua l i. Vì v y, ây là th n gi n nh t. Tôi không th gi m s chi u. M t là s chi u ít nh t. Tôi không th làm cho v t th n gi n h n m t i m toán h c. Do ó, b n có th nói, "Tôi c n bi t gì v v t th này vào th i i m ban u? Cái gì c u thành hi n t i, hay cái gì c u thành thông tin t i a v th i i m hi n t i?" Vì v y, nh ng gì chúng ta làm là chúng ta ch n m t g c t a , g i nó b ng không, chúng tôi t m t s v t làm đ u vào ó o kho ng cách, và chúng ta nói th ng này ang t i 1, 2, 3, 4, 5. Nó ang t i  $x = 5$ . Bây gi , t t nhiên, chúng ta ph i có nh ng n v và các n v dài s là mét. n v th i gian s là giây, và th i gian s c o theo giây. Sau ó, chúng ta s n các n v khác.

Right now, in kinematics, this is all you need. Now, there are some tricky problems in the book. Sometimes they give you the speed in miles per hour, kilometers per year, pounds per square foot, whatever it is. You've got to learn to transform them, but I won't do them. I think that's pretty elementary stuff. But sometimes I might not write the units but I've earned the right to do that and you guys haven't so you'll have to keep track of your units. Everything's got to be in the right units. If you don't have the units, then if you say the answer is 19, then we don't know what it means. Okay.

Ngay bây gi , trong ng h c, ây là t t c nh ng gì chúng ta c n. Bây gi , có m t s v n tính t trong sách. ôi khi h cho b n t c theo n v đ m / gi , km / n m, pound/phút bình ph ng, hay b t k th gì ó. B n ph i tìm hi u cách chuy n i chúng, nh ng tôi s không làm chúng. Tôi ngh r ng ó là th khá c b n. Nh ng ôi khi tôi có th không ghi các n v , nh ng tôi ã giành c quy n làm i u ó và các b n không c làm nh v y, do ó b n s ph i theo dõi các n v c a b n. M i th ph i úng n v . N u b n không có n v , thì n u b n nói k t qu là 19, thì chúng tôi không bi t nó có ý ngh a gì. c r i.

So here's an object. At a given instant, it's got a location. So what we would like to do is to describe what the object does by drawing a graph of time versus space and the graph would be something like this. You've got to learn how to read this graph. I'm assuming everyone knows how to read it.

Vì vậy, đây là một vật thể. Thời gian nào đó, nó có một vị trí. Vì vậy, chúng ta muốn làm là mô tả vật thể đó làm gì bằng cách vẽ một đồ thị vị trí theo thời gian và đồ thị có dạng như thế này. Bạn phải hiểu cách đọc đồ thị này. Tôi giả sử rằng tất cả mọi người đều biết cách đọc nó.

[draws a graph of  $x$  versus  $t$ ]

This doesn't mean the object is bobbing up and down. I hope you realize that. Even though the graph is going up and down, the object is moving from left to right. So, for example, when it does this, it's crossed the origin and is going to the left of the origin. Now, at the left of the origin, it turns around and starts coming to the origin and going to the right. That is  $x$  versus  $t$ . So, in the language of calculus,  $x$  is a function of time and this is a particular function. This function doesn't have a name. There are other functions which have a name. For example, this is  $x = t$ ,  $x = t^2$ , you're going to have  $x = \sin t$  and  $\cos t$  and  $\log t$ . So some functions have a name, some functions don't have a name. What a particle tries to do generally is some crazy thing which doesn't have a name, but it's a function  $x(t)$ . So you should know when you look at a graph like this what it's doing.

Đồ thị này không có nghĩa là vật thể lên xuống. Tôi hy vọng bạn nhận ra điều đó. Mặc dù các đồ thị lên xuống, vật thể đang di chuyển từ trái sang phải. Vì vậy, ví dụ, khi nào nó làm đồ thị này, nó vượt qua gốc tọa độ và sang trái của gốc tọa độ. Bây giờ, bên trái của gốc tọa độ, nó quay lại và bắt đầu đi về gốc tọa độ và đi về bên phải. Đó là  $x$  theo  $t$ . Do đó, theo ngôn ngữ giải tích,  $x$  là một hàm của thời gian và đây là một hàm cụ thể. Hàm này không có tên. Có một số hàm khác có tên. Ví dụ, đây là  $x = t$ ,  $x = t^2$ , bạn sẽ có  $x = \sin t$  và  $\cos t$  và  $\log t$ . Vì vậy, một số hàm có tên, một số hàm không có tên. Nhưng gì mà một học sinh làm nói chung là một số thứ gì đó ngu xuẩn không có tên, nhưng nó là hàm  $x(t)$ . Vì vậy, khi nhìn đồ thị có dạng như thế này bạn nên biết nó thể hiện cái gì.

So, the two most elementary ideas you learn are what is the average velocity of an object, as then ordered by the symbol  $v$ -bar. So, the average is found by taking two instants in time, say  $t_1$  and later  $t_2$ , and you find out where it was at  $t_2$  minus where it was at  $t_1$  and divide by the time. So, the average velocity may not tell you the whole story. For example, if you started here and you did all this and you came back here, the average velocity would be zero, because you start and end at the same value of  $x$ , you get something; 0 over time will still be 0. So you cannot tell from the average everything that happened because another way to get the same 0 is to just not move at all. So the average is what it is. It's an average, it doesn't give you enough detail. So it's useful to have the average velocity. It's useful to have the average acceleration, which you can find by taking similar differences of velocities. But before you even do that, I want to define for you an important concept, which is the velocity at a given time,  $v(t)$ . So this is the central

idea of calculus, right? I am hoping that if you learned your calculus, you learned about derivatives and so on by looking at  $x$  versus  $t$ .

Vì vậy, hai ý tưởng cơ bản nhất mà bạn học là vận tốc trung bình của vật thì là gì, và kí hiệu là  $v_{gch}$ . Vì vậy, giá trị trung bình của vận tốc tìm bằng cách lấy hai giá trị vận tốc thì theo thời gian, giờ đầu và sau đó là  $t_2$ , và bạn tìm ra vận tốc của nó thì thì  $t_2$  trừ vận tốc của nó thì thì  $t_1$  và chia cho hiệu thời gian. Vì vậy, vận tốc trung bình có thể không cho bạn biết toàn bộ câu chuyện. Ví dụ, nếu bạn bắt đầu đây và bạn đã làm một cuộc đua này và bạn trở lại đây, vận tốc trung bình sẽ bằng không, bởi vì bạn bắt đầu và kết thúc tại cùng một giá trị của  $x$ , bạn có cái gì đó; 0 trên thời gian sẽ vẫn là 0. Vì vậy, vận tốc trung bình bạn không thể nói thì thì  $x$  và  $y$  và  $b$  vì nếu bạn nghĩ về nó thì vận tốc trung bình của bạn bằng không. Vì vậy, vận tốc trung bình không nó vẫn đúng. Nó là một giá trị trung bình, nó không cung cấp cho bạn một chỉ số thời gian. Vì vậy khái niệm vận tốc trung bình là có ích. Khái niệm gia tốc trung bình của bạn có ích, bạn có thể tìm nó theo cách tương tự của bạn vào các khác nhau về vận tốc. Nhưng ngay lúc này khi bạn làm điều này, tôi muốn nhấn mạnh một khái niệm quan trọng, là vận tốc tức thời thì thì  $v(t)$ . Vì vậy, đây là ý tưởng trọng tâm của giải tích, phải không? Tôi hy vọng rằng bạn đã học giải tích, bạn đã học về đạo hàm và  $v..b$  cách xét  $x$  theo  $t$ .

So, I will remind you, again, this is not a course in calculus. I don't have to do it in any detail. I will draw the famous picture of some particle moving and it's here at  $t$  of some value of  $x$ . A little later, which is  $t + \Delta t$ . So  $\Delta t$  is going to stand always for a small finite interval of time; infinitesimal interval of time not yet 0. So, during that time, the particle has gone from here to there, that is  $x + \Delta x$ , and the average velocity in that interval is  $\Delta x / \Delta t$ . Graphically, this guy is  $x$  and this guy is  $t$ , and  $\Delta x$  over  $\Delta t$  is a ratio. So in calculus, what you want to do is to get the notion of the velocity right now. We all have an intuitive notion of velocity right now. When you're driving in your car, there's a needle and the needle says 60; that's your velocity at this instant. It's very interesting because velocity seems to require two different times to define it -- the initial time and the final time. And yet, you want to talk about the velocity right now. That is the whole triumph of calculus is to know that by looking at the position now, the position slightly later and taking the ratio and bringing later as close as possible to right now, we define a quantity that we can say is the velocity at this instant.

Vì vậy, tôi sẽ nhắc lại, bạn, một lần nữa, đây không phải là một khóa học giải tích. Tôi không cần phải làm nó chi tiết. Tôi sẽ vẽ một bức tranh quen thuộc của một hạt nào đó đang di chuyển và nó bắt đầu thì thì  $t$  và giá trị  $x$  nào đó. Một chút sau đó, nó là  $t + \Delta t$ . Vâng,  $\Delta t$  luôn là kí hiệu của một khoảng thời gian nhỏ xác định, thời gian nhỏ vô cùng nhưng khác 0. Vì vậy, trong thời gian đó, hạt đã đi được  $\Delta x$ , đó là  $x + \Delta x$ , và vận tốc trung bình trong khoảng thời gian đó là  $\Delta x / \Delta t$ . Về mặt hình thức, thời gian này là  $x$  và thời gian này là  $t$ , và  $\Delta x$  trên  $\Delta t$  là một tỉ số. Vì vậy, trong giải tích, những gì bạn muốn làm là nhận khái niệm vận tốc tức thời. Tất cả chúng ta đều có một ý niệm trừc giác về vận tốc tức thời. Khi bạn đang lái xe, có một cây kim và kim chỉ 60; đó là vận tốc của bạn thì thì  $t$ . Rất thú vị vì định nghĩa về vận tốc ở hai thời gian khác nhau nhấn mạnh nó - thì thì  $t$  và thì thì  $t + \Delta t$ . Và vào lúc này, bạn muốn nói về vận tốc tức thời. Đó là toàn bộ thành tựu của giải tích là biết rằng bằng cách nhìn vào vận tốc

hiện tại, vị trí sau thời điểm một chút và lý thuyết và sau đó càng gần thì  
điểm hiện tại, chúng ta nhận ra một điều mà chúng ta có thể nói là vận tốc tại  
thời điểm này.

So  $v$  of  $t$ ,  $v(t)$  is the limit,  $t$  goes to 0 of  $x$  over  $t$  and we use the symbol  $dx/dt$  for velocity. So technically, if you ask what does the velocity stand for--Let me draw a general situation. If a particle goes from here to here,  $x$  over  $t$ , I don't know how well you can see it in this figure here, is the slope of a straight line connecting these two points, and as the points come closer and closer, the straight line would become tangent to the curve. So the velocity at any part of the curve is tangent to the curve at that point. The tangent of, this angle, this  $\theta$ , is then  $x$  over  $t$ .

Vì vậy, vận tốc  $v(t)$  là một giới hạn, khi  $t$  trong trục  $x$  trên  $t$  tiến tới 0 và chúng ta dùng ký hiệu  $dx/dt$  cho vận tốc. Vì vậy, vận tốc thu được từ vận tốc vị trí đi ra cho cái gì - Hãy tôi phát hành một trung bình quát. Nhưng thật ra đây này,  $x$  trên  $t$ , tôi không biết bạn có thể nhìn thấy nó tốt nhất thế nào trong hình này, là đường thẳng nối hai điểm này, và khi những điểm này càng gần nhau, đường thẳng trở thành tiếp tuyến với đường cong. Vì vậy, vận tốc tại bất kỳ phần nào của đường cong là tiếp tuyến với đường cong tại điểm đó. Tiếp tuyến của góc này, này, đó là  $x$  trên  $t$ .

Okay, once you can take one derivative, you can take any number of derivatives and the derivative of the velocity is called the acceleration, and we write it as the second derivative of position. So I'm hoping you guys are comfortable with the notion of taking one or two or any number of derivatives. Interestingly, the first two derivatives have a name. The first one is velocity, the second one is acceleration. The third derivative, unfortunately, was never given a name, and I don't know why. I think the main reason is that there are no equations that involve the third derivative explicitly.  $F = ma$ . The  $a$  is this fellow here, and nothing else is given an independent name. Of course, you can take a function and take derivatives any number of times. So you are supposed to know, for example, if  $x(t)$  is  $t^n$ , you're supposed to know  $dx/dt$  is  $nt^{n-1}$ . Then you're supposed to know derivatives of simple functions like sines and cosines. So if you don't know that then, of course, you have to work harder than other people. If you know that, that may be enough for quite some time.

Crucially, một khi bạn có thể lấy đạo hàm, bạn có thể lấy đạo hàm bao nhiêu lần cần thiết và đạo hàm của vận tốc cũng là gia tốc, và chúng ta viết nó như đạo hàm bậc hai của vị trí. Vì vậy, tôi hy vọng các bạn đã thông thạo khái niệm đạo hàm bậc nhất, bậc hai và bậc ba. Điều thú vị là, hai đạo hàm đầu tiên có tên. Cái thứ nhất là vận tốc, cái thứ hai là gia tốc. Đạo hàm bậc ba, không may, không bao giờ có tên, và tôi không biết tại sao. Tôi nghĩ lý do chính là không có các quá trình liên quan đến đạo hàm bậc ba một cách rõ ràng.  $F = ma$ .  $a$  là ông chủ này, và không còn cái gì khác có một tên riêng. Tất nhiên, bạn có thể chọn một hàm và lấy đạo hàm bao nhiêu lần tùy ý. Vì vậy, bạn có thể tìm thấy ví dụ, nếu  $x(t)$  là  $t^n$ , bạn phải biết  $dx/dt$  là  $nt^{n-1}$ . Sau đó bạn phải biết đạo hàm của các hàm sin và cos. Vì vậy, nếu bạn không biết

điều đó thì, tất nhiên, bạn phải làm việc để có thể hiểu nó khác. Nhưng bạn biết điều đó, có thể chờ thời gian khá lâu.

Okay, so what I've said so far is, a particle moving in time from point to point can be represented by a graph,  $x$  versus  $t$ . At any point on the graph you can take the derivative, which will be tangent to the curve at each point, and its numerical value will be what you can call the instantaneous velocity of that point and you can take the derivative over the derivative and call it the acceleration. So, we are going to specialize to a very limited class of problems in the rest of this class. A limited class of problems is one in which the acceleration is just a constant. Now, that is not the most general thing, but I'm sure you guys have some idea of why we are interested in that. Does anybody know why so much time is spent on that? Yes?

Ờ, vì vậy những gì tôi đã nói cho bạn bây giờ là, một hạt di chuyển theo thời gian thì trong hình này thì nó khác có thể biểu diễn bằng một đồ thị,  $x$  theo  $t$ . Tại bất kỳ điểm nào trên đồ thị, bạn có thể lấy đạo hàm, nó sẽ là tiếp tuyến với đường cong tại điểm đó và giá trị của nó sẽ là vận tốc tức thời tại điểm đó và bạn có thể lấy đạo hàm của đạo hàm đó và gọi nó là gia tốc. Vì vậy, chúng ta sẽ tập trung vào một loại bài tập trong phần còn lại của khóa học này. Một lớp các bài tập gì thì hình là cái mà trong đó gia tốc chỉ là hằng số. Hiện tại, nó không phải là một dạng quát nhất, nhưng tôi chắc chắn rằng các bạn sẽ hiểu tại sao chúng ta quan tâm đến nó. Có ai biết tại sao chúng ta dành quá nhiều thời gian cho nó không? Mời bạn?

**Student:** [inaudible]

**Professor Ramamurti Shankar:** Pardon me?

Nhắc lại cho thầy có không?

**Student:** [inaudible]

**Professor Ramamurti Shankar:** Right. The most famous example is that when things fall near the surface of the Earth, they all have the same acceleration, and the acceleration that's constant is called  $g$ , and that's 9.8 meters/second<sup>2</sup>. So that's a very typical problem. When you're falling to the surface of the Earth, you are describing a problem of constant acceleration. That's why there's a lot of emphasis on sharpening your teeth by doing this class of problems. So, the question we are going to ask is the following, "If I tell you that a particle has a constant acceleration  $a$ , can you tell me what the position  $x$  is?"

Đúng. Ví dụ điển hình nhất là khi các vật rơi gần bề mặt Trái Đất, tất cả chúng ta có gia tốc gì ngang nhau, và gia tốc hằng số đó gọi là  $g$ , và nó bằng 9,8 mét/giây bình phương. Vì vậy, đó là một bài toán rất điển hình. Khi bạn rơi gần bề mặt của Trái Đất, bạn sẽ mô tả một bài toán có gia tốc hằng số. Đó là lý do tại sao chúng ta tập trung vào loại bài tập này. Vì vậy, câu hỏi chúng ta sẽ hỏi là như sau: "Nếu tôi cho bạn biết một hạt có gia tốc không đổi  $a$ , bạn có thể cho tôi biết vị trí  $x$  của nó không?"

Normally, I will give you a function and tell you to take any number of derivatives. That's very easy. This is the backwards problem. You're only given the particle has acceleration  $a$ , and you are asked to find out what is  $x$ ? In other words, your job is to guess a function whose second derivative is  $a$ , and this is called integration, which is the opposite of differentiation, and integration is just guessing. Integration is not an algorithmic process like differentiation. If I give you a function, you know how to take the derivative. Change the independent variable, find the change in the function, take the ratio and that's the derivative. The opposite is being asked here. I tell you something about the second derivative of a function and ask you what is the function. The way we do that is we guess, and the guessing has been going on for 300 years, so we sort of know how to guess.

Bình thường, tôi sẽ cho bạn một hàm và yêu cầu bạn lấy đạo hàm một số lần tùy ý. Điều đó rất dễ dàng. Đây là bài toán ngược. Bạn cần cho mình một hàm có gia tốc  $a$ , và bạn cần yêu cầu tìm vị trí  $x$  của nó? Nói cách khác, công việc của bạn là đoán một hàm mà đạo hàm bậc hai của nó là  $a$ , và cái này công việc là tích phân, ngược với vi phân, và tích phân chính là đoán. Tích phân không phải là một quá trình thuật toán gì như vi phân. Nếu tôi cho bạn một hàm, bạn biết cách lấy đạo hàm. Thay vì các biến số, tìm sự thay đổi của hàm, lấy tỷ số và đó là đạo hàm. Cái này công việc yêu cầu này. Tôi cho bạn một hàm bậc hai của một hàm và hỏi bạn nó là hàm gì. Cách chúng ta làm điều đó là chúng ta đoán, và sự đoán đã diễn ra khoảng 300 năm, vì vậy chúng ta phần nào biết cách đoán.

So, let me think aloud and ask how I will guess in this problem. I would say, okay, this guy wants me to find a function which reduces to the number  $a$  when I take two derivatives, and I know somewhere here, this result, which says that when I take a derivative, I lose a power of  $t$ . In the end, I don't want any powers of  $t$ . It's very clear I've got to start with a function that looks like  $t^2$ . This way when I take two derivatives, there will be no  $t$  left. Well, unfortunately, we know this is not the right answer, because if you take the first derivative, I get  $2t$ . If I take the second derivative I get 2, but I want to get  $a$  and not 2. Then it's very clear the way you patch it up is you multiply it by this constant and now we're all set. This function will have the right second derivative. So, this certainly describes a particle whose acceleration is  $a$ . The  $a$  is not dependent on time. But the question is, is this the most general answer, or is it just one answer, and I think you all know that this is not the most general answer. It is one answer. But I can add to this some number, like 96, that'll still have the property that if you take two derivatives, you're going to get the same acceleration. So 96 now is a typical constant, so I'm going to give the name  $c$  to that constant.

Vì vậy, hãy tôi nghĩ thấu đáo và biết cách tôi sẽ đoán bài toán này. Tôi sẽ nói, vâng, ông này muốn tôi tìm một hàm số biến thành  $a$  khi tôi lấy đạo hàm hai lần, và tôi biết nó nằm ở đâu quanh đây, kết quả này, nó nói rằng khi tôi lấy đạo hàm, tôi mất một lũy thừa của  $t$ . Cuối cùng, tôi không muốn bất kỳ lũy thừa nào của  $t$ . Rõ ràng tôi phải bắt đầu với một hàm có dạng  $t^2$ . Bằng cách này, khi tôi lấy đạo hàm bậc hai, sẽ không còn  $t$  nữa. Vâng, thật không may, chúng ta biết đây không phải là câu trả lời chính xác, bởi vì nếu bạn lấy đạo hàm bậc hai của nó, tôi nhận được  $2t$ . Nếu tôi lấy đạo hàm bậc hai tôi nhận được 2, nhưng tôi cần  $a$ , không phải 2. Vì vậy, rõ ràng cách bạn vá nó lại là bạn nhân nó với một hằng số và bây giờ chúng ta đã xong. Hàm này sẽ có đạo hàm bậc hai đúng. Vì vậy, điều này chắc chắn mô tả một hạt có gia tốc là  $a$ . Gia tốc  $a$  không phụ thuộc vào thời gian. Nhưng câu hỏi là, đây có phải là câu trả lời tổng quát nhất, hay chỉ là một câu trả lời, và tôi nghĩ bạn tất cả đều biết rằng đây không phải là câu trả lời tổng quát nhất. Đây là một câu trả lời. Nhưng tôi có thể thêm vào đây một số số, ví dụ như 96, điều này vẫn sẽ có tính chất là nếu bạn lấy hai đạo hàm, bạn sẽ nhận được cùng gia tốc. Vì vậy, 96 bây giờ là một hằng số điển hình, vì vậy tôi sẽ đặt tên  $c$  cho hằng số đó.

mu n nh n c a ch không ph i 2. Thì rõ ràng chúng ta có th chính xác hóa nó b ng cách nhân nó v i h ng s này và bậy gi chúng ta ã hoàn thành. Hàm này s có o hàm b c hai úng. Vì v y, cái này ch c ch n mô t m t h t mà gia t c c a nó b ng a. a không ph thu c th i gian. Nh ng câu h i t ra là, ây có ph i là câu tr l i t ng quát nh t không, hay nó ch là m t trong nhi u câu tr l i, và tôi ngh r ng t t c các b n bi t r ng ây không ph i là câu tr l i t ng quát nh t. Nó là m t câu tr l i. Nh ng tôi có th thêm vào cái này con s nào ó, nh 96, mà nó v n còn có tính ch t là n u b n l y o hàm b c hai, b n s nh n c cùng m t gia t c. Vì v y, bậy gi 96 là m t h ng s i n hình, do ó, tôi s t tên h ng s ó là c.

Everyone knows from calculus that if you're trying to find a function about which you know only the derivative, you can always add a constant to one person's answer without changing anything. But I think here, you know you can do more, right? You can add something else to the answer without invalidating it, and that is anything with one power of  $t$  in it, because if you take one derivative it'll survive, but if you take two derivatives, it'll get wiped out. Now, it's not obvious but it is true that you cannot add to this anymore. The basic idea in solving these equations and integrating is you find one answer, so then when you take enough derivatives, the function does what it's supposed to do. But then having found one answer, you can add to it anything that gets killed by the act of taking derivatives. If you're taking only one derivative you can add a constant. If you're taking two derivatives you can add a constant and something linear in  $t$ . If you knew only the third derivative of the function, you can have something quadratic in  $t$  without changing the outcome.

M i ng i u bi t t gi i tích r ng n u b n c tìm m t hàm mà b n ch bi t o hàm c a nó, b n có th luôn luôn thêm m t h ng s vào câu tr l i mà không thay i b t c i u gì. Nh ng tôi ngh r ng ây, b n bi t b n có th làm nhi u h n n a, ph i không? B n có th thêm th n a vào câu tr l i mà không làm nó sai, và ó là m t s h ng b t kì có t m m t trong ó, b i vì n u b n l y o hàm b c l nó s v n còn, nh ng n u b n l y o hàm b c hai, nó s b xóa s . Bậy gi , nó không rõ ràng nh ng úng là b n không th thêm vào k t qu này cái gì n a. Ý t ng c b n trong vi c gi i nh ng ph ng trình này và l y tích phân là b n tìm m t câu tr l i, do ó, sau ó khi b n l y o hàm, hàm làm nh ng gì nó có nhi m v ph i làm. Nh ng sau khi tìm c câu tr l i, b n có th thêm vào nó b t c th gì có th b tri t tiêu khi l y o hàm. N u b n ch l y o hàm m t l n, b n có th thêm vào m t h ng s . N u b n ang l y o hàm b c hai b n có th thêm m t h ng s và th gì ó tuy n tính theo t. N u c cho o hàm b c ba c a hàm, b n có th có a vào m t i l ng b c hai theo t mà không thay i k t qu .

So, this is the most general position for a particle of constant acceleration,  $a$ . Now, you must remember that this describes a particle going side to side. I can also describe a particle going up and down. If I do that, I would like to call the coordinate  $y$ , then I will write the same thing. You've got to realize that in calculus, the symbols that you call  $x$  and  $y$  are completely arbitrary. If you know the second derivative of  $y$  to be  $a$ , then the answer looks like this. If you knew the second derivative of  $x$ , the answer looks like that. Now, we have to ask what are these numbers,  $b$  and  $c$ .

Vì vậy, đây là vị trí tổng quát nhất của vị trí có gia tốc không đổi,  $a$ . Bây giờ, bạn phải nhớ rằng cái này mô tả một hướng từ phía này sang phía kia. Tôi cũng có thể mô tả một hướng đi lên và xuống. Nếu tôi làm điều đó, tôi muốn ghi hướng đi xuống, thì tôi sẽ viết cùng một thứ. Bạn nên nhớ rằng trong giới tích, các ký hiệu mà bạn nghĩ là  $x$  và  $y$  hoàn toàn tùy ý. Nếu bạn biết một hàm bậc hai của  $y$  là  $a$ , thì câu trả lời sẽ giống như thế này. Nếu bạn biết một hàm bậc hai của  $x$ , câu trả lời sẽ như thế đó. Bây giờ, chúng ta phải hỏi những số này là bao nhiêu,  $b$  và  $c$ .

So let me go back now to this expression,  $x(t) = at^2/2 + c + bt$ . It is true mathematically, you can add two numbers, but you've got to ask yourself, "What am I doing as a physicist when I add these two numbers?" What am I supposed to do with  $a$  and  $b$ ? I mean, with the  $b$  and  $c$ ? What value should I pick? The answer is that simply knowing the particle has an acceleration is not enough to tell you where the particle will be. For example, let's take the case where the particle is falling under gravity. Then you guys know, you just told me, acceleration is  $-9.8$ , my  $g$  is  $-9.8$ . We call it "minus" because it's accelerating down and up was taken to be the positive direction. In that case,  $y(t)$  will be  $-1/2gt^2 + c + bt$ .

Vì vậy, bây giờ hãy tôi trả lời câu hỏi này,  $x(t) = at^2/2 + c + bt$ . Về mặt toán học nó đúng, bạn có thể thêm hai con số, nhưng bạn phải hỏi mình: "Viết cách là một nhà vật lý tôi đang làm gì khi tôi thêm hai số này?" Tôi phải làm gì với  $a$  và  $b$ ? Ý tôi là, với  $b$  và  $c$ ? Tôi nên chọn giá trị nào? Câu trả lời là chỉ biết gia tốc chưa đủ để chọn vị trí bắt đầu. Ví dụ, chúng ta hãy xét trường hợp một vật đang rơi xuống dưới tác dụng của trọng lực. Thì nhớ bạn biết, bạn chỉ cần nói với tôi, gia tốc là  $-9,8$ ,  $g$  của tôi là  $-9,8$ . Chúng ta gọi nó là "tr" vì nó đang chuyển động xuống và hướng lên chỉ nên là hướng đi. Trong trường hợp đó,  $y(t)$  sẽ là  $-1/2gt^2 + c + bt$ .

So, the point is, every object falling under gravity is given by the same formula, but there are many, many objects that can have many histories, all falling under gravity, and what's different from one object and the other object is, when was it dropped, from what height, and with what initial speed. That's what these numbers are going to tell us and we can verify that as follows. If you want to know what the number  $c$  is, you say, let's put time  $t = 0$ . In fact, let me go back to this equation here. You'll put time  $t = 0$ ,  $x(0)$  doesn't have this term, doesn't have this term, and it is  $c$ . So I realize that the constant,  $c$ , is the initial location of the object, and it's very common to denote that by  $x_0$ .

Vì vậy, về đây là, một vị trí ban đầu khác nhau, nhưng cùng một công thức, nhưng có một số khác nhau, nhưng vị trí có thể có những số khác nhau, tất cả đều khác nhau, và số khác nhau sẽ ảnh hưởng đến vị trí ban đầu bao nhiêu. Đó là những gì mà các con số này sẽ cho chúng ta biết và chúng ta có thể xác minh điều đó như sau. Nếu bạn muốn biết vị trí ban đầu bao nhiêu, bạn nói, chúng ta hãy đặt thời gian  $t = 0$ . Trong thực tế, hãy tôi trở về quá trình này tiếp đây. Bạn sẽ đặt thời gian  $t = 0$ ,  $x(0)$  không có số hạng này, không có số hạng này, và nó bằng  $c$ . Vì vậy, tôi nhớ rằng những số  $s$ ,  $c$ , là vị trí ban đầu của vật thể, và nó thường được ký hiệu bằng  $x_0$ .



So the meaning of the constant  $c$  is where was the object at the initial time? It could've been anywhere. Simply knowing the acceleration is not enough to tell you where it was at the initial time. You get to pick where it was at the initial time. Then, to find the meaning of  $b$ , we take one derivative of this,  $dx/dt$ , that's velocity as a function of time, and if you took the derivative of this guy, you will find as  $at + b$ . That's the velocity of the object. Then, you can then understand that  $v(0)$  is what  $b$  is, which we write as  $v_0$ . Okay, so the final answer is that  $x(t)$  looks like  $x_0 + v_0 t + 1/2 at^2$ . Okay. So what I'm saying here is we are specializing to a limited class of motion where the particle has a definite acceleration,  $a$ . Then, in every situation where the body has an acceleration  $a$ , the location has to have this form, where this number ( $x_0$ ) is where it was initially, this ( $v_0$ ) was the initial velocity of the object. So, when I threw that thing up and you caught it, what you are doing mentally was immediately figuring out where it started and at what speed. That was your initial data. Then in your mind, without realizing it, you found the trajectory at all future times.

Vì vậy ý nghĩa của hằng số là vị trí của vật tại thời điểm ban đầu? Nó không thể  
 min i. Chỉ biết gia tốc không cho bạn biết vị trí đầu tiên của vật ban đầu.  
 Bạn phải chọn vị trí ban đầu của nó. Sau đó, tìm ý nghĩa của  $b$ , chúng ta lấy đạo hàm  
 bậc nhất của cái này,  $dx/dt$ , đó là vận tốc như hàm theo thời gian, và nếu bạn lấy  
 đạo hàm của hàm này, bạn sẽ tìm được  $c$  tại  $t=0$ . Đó là vận tốc của vật tại  $t=0$ . Sau đó, bạn có thể  
 hiểu rằng  $v(0)$  là  $b$ , mà chúng tôi viết là  $v_0$ . Vì vậy, với câu trả lời của chúng ta là  $x$   
 $(t)$  có thể là  $x_0 + v_0 t + 1/2 at^2$ . Vì vậy, những gì tôi nói đây là chúng ta  
 đang tập trung vào một loại chuyển động nhất định trong đó gia tốc xác định là  $a$ . Do  
 đó, trong một trường hợp phổ biến có gia tốc  $a$ , vị trí phải có dạng này,  $x_0$  này  
 là vị trí ban đầu,  $(v_0)$  này là vận tốc ban đầu của vật tại  $t=0$ . Vì vậy, khi tôi ném vật đó lên  
 và bắt nó, những gì bạn đang làm trong đầu là ngay lập tức suy ra nó bắt đầu  
 ở đâu và có vận tốc bao nhiêu. Đó là dữ liệu ban đầu của bạn. Sau đó, trong tâm trí của bạn,  
 không nhận ra nó, bạn tìm được quỹ đạo của vật trong tương lai.

Now, there is one other celebrated formula that goes with this. I'm going to find that, then  
 I'll give you an example. Now, I'm fully aware that this is not the flashiest example in  
 physics, but I'm not worried about that right now. You'll see enough things that will  
 confound you, but right now I want to demonstrate a simple paradigm of what it means to  
 know the present and what it means to say this is what the future behavior will be. We  
 want to do that in the simplest context, then we can make the example more and more  
 complicated, but the phenomenon will be the same. So, what we have found out so far,  
 I'm purposely going from  $x$  to  $y$  because I want you to know that the unknown variable  
 can be called an  $x$  or can be called a  $y$ . It doesn't matter, as long as the second derivative  
 is  $a$ ; that's the answer.

Bây giờ, có một công thức nổi tiếng khác liên quan đến cái này. Tôi sẽ tìm ra nó, sau đó tôi sẽ  
 cho bạn một ví dụ. Bây giờ, tôi hoàn toàn hiểu rằng đây không phải là ví dụ dễ dàng nhất  
 trong vật lý, nhưng tôi không phải lo lắng ngay bây giờ. Bạn sẽ thấy những  
 thứ làm bạn bối rối, nhưng ngay bây giờ tôi muốn chứng minh một mô hình đơn giản của  
 những gì nó muốn nói về vị trí và nó nói gì về chuyển động của hạt trong tương  
 lai. Chúng tôi muốn làm điều đó trong trường hợp đơn giản nhất, sau đó chúng ta có thể

làm các ví dụ ngày càng phức tạp hơn, nhưng hiện tại ngừng tại đây. Vì vậy, nhưng gì chúng ta sẽ tìm ra cho nó bây giờ, tôi chắc chắn vì tôi muốn bản bài trình bày chính xác thì công thức là  $x$  hoặc công thức là  $y$ . Nếu không quan trọng, thì nó là một hàm bậc hai là  $a$ ; đó là câu trả lời.

Now there's a second formula one derives from this. You guys probably know that too from your days at the daycare, but I want to derive the formula and put it up, then we'll see how to use it. Second formula tries to relate the final velocity of some time,  $t$ , to the initial velocity and the distance traveled with no reference to time. So the trick is to eliminate time from this equation.

Bây giờ có một công thức thì hai mà người ta sẽ rút ra từ công thức này. Có lẽ các bạn biết nếu có một ngày nhà trẻ, nhưng tôi muốn rút ra công thức và đưa nó lên, sau đó chúng ta sẽ thấy cách sử dụng nó. Công thức thì hai công thức liên hệ gì về vận tốc cùng thời điểm thì điểm nào đó về vận tốc ban đầu và khoảng cách đã đi chuyển, không chính xác thì gian. Vì vậy, thì thu được là khi thì gian thì phần trình bày này.

So let's see how we can eliminate time. You know that if you took a derivative of this, you will find  $v(t)$  is  $v_0 + at$ . What that means is, if you know the velocity of the given time and you know the initial velocity, you know what time it is. The time, in fact, is  $v - v_0$  over  $a$ . If I don't show you any argument for  $v$ , it means  $v$  at time  $t$  and the subscript of 0 means  $t$  is zero. So what this says is, you can measure time by having your own clock. A clock tells you what time it is, but you can also say what time it is by seeing how fast the particle is moving because you know it started with some speed. It's gaining speed at some rate  $a$ . So, if the speed was so and so now, then the time had to be this. So time can be indirectly inferred from these quantities. Then you take that formula here ( $t$ ) and you put it here, ( $y(t)$ ) to see  $a$  times  $t$ , you put this expression. So what will you get? We'll get an expression in which there is no  $t$ ;  $t$  has been banished in favor of  $v$ . So, I'm not going to waste your time by asking what happens if you put it in. I will just tell you what happens. What happens is, you will find that  $v^2 = v_0^2 + 2a$  times  $(y - y_0)$ . [Note: The Professor said  $x$  when he meant  $y$ ] How many people have seen this thing before? Okay. That's a lot. Look, I know you've seen this.

Vì vậy chúng ta hãy xem cách chúng ta khi thì gian như thế nào. Bản bài trình bày bản lý của hàm của cái này, bạn sẽ tìm được  $v(t)$  bằng  $v_0 + at$ . Nếu có nghĩa là gì, thì bản bài trình bày vận tốc tại thời điểm cho trước và bản bài trình bày vận tốc ban đầu, bạn sẽ biết thì gian là bao nhiêu. Ngược lại, thì gian là  $v - v_0$  trên  $a$ . Nếu tôi không chắc rằng khi thì gian nào cho  $v$ , thì nếu có nghĩa là  $v$  tại thời điểm và chúng ta sẽ đi 0 có nghĩa là thì gian không. Vì vậy, thì gian này nói lên rằng, bạn có thể thì gian theo một cách riêng biệt. Một người cho bản bài trình bày thì gian bằng bao nhiêu, nhưng bạn cũng có thể nói thì gian bằng bao nhiêu bằng cách xem một chuyển động nhanh như thế nào vì bản bài trình bày vận tốc thì gian nào đó. Nó thì gian thì gian nào đó. Vì vậy, thì gian là như vậy và như vậy bây giờ, thì thì gian phải là như thế này. Vì vậy, thì gian có thể suy ra từ các điểm như thế này. Sau đó, bản lý công thức đó là  $v^2(t)$  và bản trình bày nó vào đây,  $(y(t))$  thì gian nhân  $t$ , bản trình bày vào bài của chúng ta. Vì vậy, bạn sẽ nhận được gì? Chúng ta sẽ

nhân số mà trong đó không có  $t$ ;  $t$  đã bị trục xuất có lợi cho  $v$ . Vì vậy, tôi sẽ không lãng phí thời gian làm các thứ vì cớ đó. Tôi sẽ nói ngay cho bạn nếu gì xảy ra. Nếu xảy ra là, bạn sẽ tìm  $v^2 = v_0^2 + 2a(y - y_0)$ . [Ghi chú: Giáo sư nói x khi ông ý muốn nói y] Có bao nhiêu người đã thấy ý này rồi? Vâng. Rồi thì ừ. Nhìn này, tôi biết các bạn đã thấy ý này.

At the moment, I have to go through some of the more standard material before we go to the more non-standard material. If this part's very easy for you, there's not much I can do right now. So let me draw a box. Drawing a box to you guys means important. These are the two important things. Remember, I want you to understand one thing. How much of this should you memorize? Suppose you've never seen this in high school. How much are you supposed to memorize? I would say, keep that to a minimum, because what the first formula tells you should be so intuitive that you don't have to cram this. We are talking about particles of constant acceleration. That means, when I take two derivatives, I want to get  $a$ , then you should know enough calculus to know it has to be something like  $at^2$ , and half comes from taking two derivatives. The other two you know are stuff you can add, and you know where you're adding those things, because the particle has a head start. It's got an initial position. Even  $at = 0$ , and it has an initial velocity, so even without any acceleration, it will be moving from  $y^0$  to  $y^0 + vt$ . The acceleration gives you an extra stuff, quadratic in time. Once you've got that, one derivative will give you the velocity, then in a crunch you can eliminate  $t$  and put it into this formula. But most people end up memorizing these two because you use it so many times. It eventually sticks in you but you shouldn't try to memorize everything.

Thời điểm này, tôi phải thôi luận qua một số kiến thức tiêu chuẩn hơn trước khi chúng ta đi lên các kiến thức nâng cao. Nếu ý này quá dễ với bạn, tôi không thể làm gì được ngay bây giờ. Vì vậy, hãy tôi khoanh tròn công thức này. Khoanh tròn nghĩa là quan trọng. Đây là hai ý quan trọng. Hãy nhớ nhé, tôi muốn bạn hiểu công thức này. Có bao nhiêu trong số cái này bạn nên nhớ? Giáo sư bạn chat ngay thì ý cái này trọng phải thông. Bạn có nhớ mình bao nhiêu? Tôi xin nói, hãy ghi ý này ở mặt thi, bởi vì những công thức ưu tiên cho bạn biết quá trình giác nên bạn không cần phải nhớ hết cái này. Chúng ta đang nói về các hạt có gia tốc không đổi. Nếu có công thức là, khi tôi lấy đạo hàm bậc hai, tôi muốn có  $a$ , thì bạn nên biết gì tích phân thì nó phải là  $at$  bình, và một phần hai  $t^2$  vì lấy đạo hàm bậc hai. Hai cái khác bạn biết là những thứ bạn có thể nghĩ, và bạn biết tính toán những cái này, vì hạt có một khối lượng. Nó có một vị trí ban đầu. Khi  $at = 0$ , và nó có vận tốc ban đầu, do đó, thì khi không có gia tốc, nó sẽ di chuyển từ  $y_0$  đến  $y_0 + vt$ . Gia tốc cho bạn thêm một thứ, bình phương của thời gian. Một khi bạn có ý này, đạo hàm bậc hai thì sẽ cho bạn vận tốc, sau đó ngay lập tức bạn có thể lấy tích phân và đưa nó vào công thức này. Tuy nhiên, hãy nhớ rằng những kiến thức này là những cái này vì bạn dùng nó nhiều lần. Cùng nó lại lại trong những những cái này không nên nhớ những thứ này.

So, we are now going to do one standard problem where we will convince ourselves we can apply this formulae and predict the future given the present. So the problem I want to do--there are many things you could do but I just picked one, and this is the one with round numbers so I can do it without a calculator. Here's the problem. There is this

building and it's going to be 15 meters high, and I'm going to throw something and it's going to go up and come down. It's something I throw up has an initial speed of 10 meters per second. So we have to ask now, now that my claim is, you can ask me any question you want about this particle and I can answer you. You can ask me where it will be nine seconds from now, eight seconds from now, how fast will it be moving. I can answer anything at all. But what I needed to do this problem was to find these two unknowns. So, you've got to get used to the notion of what will be given in general and what is tailor-made to the occasion. So, we know in this example the initial height should be 15 meters and the initial velocity should be 10, and for acceleration, I'm going to use  $-g$  and to keep life simple, I'm going to call it  $-10$ . As you know, the correct answer is 9.8, but we don't want to use the calculator now so we'll call it  $-10$ . Consequently, for this object the position  $y$ , at any time  $t$  is known to be  $15 + 10t - 5t^2$ . That is the full story of this object. Of course, you've got to be a little careful when you use it. For example, let's put  $t$  equal to 10,000 years. What are you going to get? When  $t$  is equal to 10,000 years or 10000 seconds, you're going to find  $y$  is some huge negative number. You know, that's not right, what's wrong with that reasoning?

Vì vậy, bây giờ chúng ta sẽ làm một bài toán tiêu chuẩn, đó chúng ta có thể thay thế phần mình rằng chúng ta có thể áp dụng các công thức này và tiên đoán rằng lại dựa trên hình thức. Vì vậy, bài tập tôi muốn làm - có một nhũ u i u b n có thể làm như tôi chỉ cần một, và đây là bài toán về những sự sụp đổ vì vậy tôi có thể làm nó mà không cần máy tính. Đây là bài toán. Có một tòa nhà nhũ này và nó cao 15 mét, và tôi sẽ ném một gì đó và nó sẽ đi lên và rơi xuống. Vận tốc ban đầu của nó là 10 m/s. Vì vậy, bây giờ chúng ta phải hỏi, bây giờ xác định của tôi là, bạn có thể hỏi tôi bất kỳ câu hỏi nào mà bạn muốn về vật này và tôi có thể trả lời bạn. Bạn có thể hỏi tôi, nó sẽ mất bao lâu sau chín giây kể từ bây giờ, tám giây kể từ bây giờ, nó chuyển động nhanh như thế nào. Tôi có thể trả lời bất kỳ câu hỏi nào. Nhưng những gì tôi cần làm bài toán này là tìm hai biến này. Vì vậy, bạn phải quen với các ký hiệu để cho dễ dàng tổng quát và những gì phù hợp với hoàn cảnh đó. Vì vậy, trong ví dụ này R chúng ta biết cao ban đầu là 15 mét và vận tốc ban đầu là 10, và vì vì gia tốc, tôi sẽ sử dụng  $g$  và cho bài toán ngắn gọn, tôi sẽ cho nó bằng 10. Nhưng bạn sẽ biết, câu trả lời chính xác là 9,8, nhưng chúng ta không muốn sử dụng máy tính bây giờ vì vậy chúng ta sẽ cho nó bằng 10. Do vậy, vì vì vật thể này với  $y$ , tôi bất kỳ thời điểm nào sẽ là  $15 + 10t - 5t^2$ . Đó là lịch sử vị trí vật thể này. Tất nhiên, bạn phải cẩn thận khi bạn dùng nó. Ví dụ, hãy đặt  $t$  bằng 10.000 năm. Bạn sẽ nhận được cái gì? Khi  $t$  bằng 10.000 năm hoặc 10.000 giây, bạn sẽ thấy  $y$  là một số âm rất lớn. Bạn biết, nếu không đúng, có gì không nên vì lý do đó?

**Student:** [inaudible]

**Professor Ramamurti Shankar:** So you cannot use the formula once it hits the ground because once it hits the ground, the fundamental premise that  $a$  was a constant of  $-9.8$  or  $-10$  is wrong. So that's another thing to remember. Once you get a formula, you've got to always remember the terms under which the formula was derived. If you blindly use it beyond its validity, you will get results which don't make any sense. Conversely, if you get an answer and it doesn't seem to make sense, then you've got to go back and ask, am I violating some of the assumptions, and here you will find the assumption that the particle

had that acceleration  $a$  is true as long it's freely falling under gravity but not when you hit the ground. Now, if you dug a hole here until there, and of course it may work until that happens, okay. But you've got them every time. This is so obvious in this problem, but when you see more complicated formula, you may not know all the assumptions that went into the derivation and quite often you will be using it when you shouldn't. All right.

Vì vậy, bạn không thể sử dụng công thức khi nó chạm mặt đất, vì mặt đất khi nó chạm mặt đất, các giá trị tốc độ ban đầu là hằng số bằng  $-9,8$  hoặc  $-10$  là sai. Vì vậy, đó là một điều khác biệt. Một khi bạn có công thức, bạn phải luôn luôn ghi nhớ những điều kiện mà hằng số rút ra từ đó. Nếu bạn sử dụng nó quá mức quá vọt xa khỏi các điều kiện, bạn sẽ nhận được kết quả không có nghĩa. Ngược lại, nếu bạn nhận được công thức câu trả lời và nó đúng nhưng không có ý nghĩa, thì bạn phải quay lại và hỏi, tôi đã viết phương trình sai hay không, và đây bạn sẽ tìm thấy gì như rằng họ có gia tốc a là 0 đó là đúng miễn là nó di chuyển theo hướng tác động của trọng lực nhưng không phải khi nó chạm đất. Bây giờ, nếu bạn vào mặt đất này cho nó, và dĩ nhiên nó có thể đứng cho nó khi nó đi xuống, vâng. Nhưng bạn có chúng mình lúc. Điều này quá rõ ràng trong bài toán này, nhưng khi bạn gặp những công thức phức tạp hơn, bạn có thể không biết tất cả các giá trị khi rút ra nó và khá thú vị xuyên, bạn sẽ sử dụng nó khi bạn không nên. Cảm ơn.

See, this you agree, is a complete solution to this miniature, tiny, Mickey -Mouse problem. You give me the time and I'll tell you where it is. If you want to know how fast it's moving at a given time, if you want to know the velocity, I just take the derivative of this answer, which is  $10 - 10t$ . So let me pick a couple of trivial questions one can ask. One can ask the following question. How high does it go? How high will it rise? To what height will it rise? So, we know it's going to go up and turn around and come down. We're trying to see how high that is. So, that is a tricky problem to begin with because if you take this formula here, it tells you  $y$  if you know  $t$ , but no, we're not saying that. We don't know the time and we don't know how high it's rising so you can ask, "How am I supposed to deal with this problem?" Then you put something else that you know in your mind, which is that the highest point is the point when it's neither going up nor coming down. If it's going up, that's not the highest point. If it's coming down, that's not the highest point. So at the highest point it cannot go up and it cannot go down. That's the point where velocity is 0. If you do that, let's call the particular time  $t^*$ , then  $10t^* - 10 = 0$ , or  $t^*$  is 1 second. So we know that it'll go up for one second then it will turn around and come back.

Thật không, cái này bạn nghĩ, là một lời giải hoàn chỉnh cho vấn đề này, như xít, bài toán chuột Mickey. Bạn cho tôi thời gian và tôi sẽ cho bạn biết nó đi đâu. Nếu bạn muốn biết nó di chuyển nhanh bao nhiêu thì bất kỳ thời điểm nào, nếu bạn muốn biết vị trí của nó, tôi chỉ cần lấy đạo hàm của kết quả này, nó bằng  $10 - 10t$ . Vì vậy, hãy cho tôi chỉ một vài câu hỏi thông thường mà bạn có thể hỏi. Bạn có thể hỏi câu hỏi sau đây. Nó đi lên cao bao nhiêu? Nó đi lên cao bao nhiêu? Hoặc chỉ đi cao mà nó đi lên là bao nhiêu? Vâng chúng ta biết nó sẽ đi lên và quay lại và đi xuống. Chúng ta đang cố gắng xem cái đó cao bao nhiêu. Vì vậy, đó là một bài toán tính toán bất ngờ vì nếu bạn chỉ cần công thức này này, nó sẽ cho bạn biết bạn biết, nhưng không, chúng ta

không nói gì lên. Chúng ta không biết thời gian và chúng ta không biết nó lên cao bao nhiêu, do đó bạn có thể hỏi, "Vấn đề gì của bài toán này như thế nào?" Sau đó, bạn thêm cái gì khác mà bạn viết vào trong tủ bạn, đó là độ cao nhất là độ cao khi nó không đi lên mà cũng không đi xuống. Nếu nó đi lên, đó không phải là độ cao nhất. Nếu nó đi xuống, đó không phải là độ cao nhất. Vì vậy, độ cao nhất nó không thể đi lên và nó không thể đi xuống. Đó là độ cao mà tại đó vận tốc bằng 0. Chúng ta hãy nghĩ về thời gian cần thiết là  $t^*$ , do đó  $10t^* - 10 = 0$ , hay  $t^* = 1$  giây. Vì vậy, chúng ta biết rằng nó sẽ đi lên trong một giây sau đó nó sẽ quay lại và đi xuống.

Now, we are done because now we can ask how high does it go, and you go back to your, and  $y(1)$  is  $15 + 10 - 5$ , which is what? Twenty meters. By the way, you will find that I make quite a lot of mistakes on the blackboard. You're going to find out, you know, one of these years when you start teaching that when you get really close to a blackboard, you just cannot think. There's definitely some inverse correlation between your level of thinking and the proximity to the blackboard. So if you find me making a mistake, you've got to stop me. Why do you stop me? For two reasons. First of all, I'm very pleased when this happens, because I'm pretty confident that I can do this under duress, but I may not do it right every time. But if my students can catch me making a mistake, it means they are following it and they are not hesitating to tell me. Secondly, as we go to the more advanced part of the course, we'll take a result from this part of the blackboard, stick it into the second part and keep manipulating, so if I screwed up in the beginning and you guys keep quiet, we'll have to do the whole thing again.

Bây giờ, chúng ta đã hoàn thành bài vì bây giờ chúng ta có thể biết nó lên cao bao nhiêu, bằng cách quay lại về vị trí của  $y(t)$ , và  $y(1)$  bằng  $15 + 10 - 5$ , bằng bao nhiêu? Hai mươi mét. Qua đây, bạn thấy rằng tôi phạm khá nhiều lỗi trên bảng đen. Như bạn biết, bạn sẽ nhận ra, một trong những nguyên nhân là khi bạn bắt đầu dự kiến bạn sẽ dừng lại ở độ cao nhất, bạn không thể suy nghĩ. Chắc chắn có một mối liên quan nào đó giữa mức độ căng thẳng của bạn và số lượng lỗi bạn phạm. Vì vậy, nếu bạn thấy tôi phạm một lỗi, bạn phải dừng tôi lại. Tại sao bạn dừng tôi lại? Có hai lý do. Thứ nhất, tôi rất vui khi đi xuống này xảy ra, vì tôi khá tin rằng tôi có thể làm đi lên này do căng ép, nhưng có thể tôi không làm nó đúng một lúc. Nhưng nếu các sinh viên của tôi có thể phát hiện lỗi của tôi, đi lên đó có nghĩa là đang theo dõi bài học và họ không ngừng nhắc nhở cho tôi biết. Thứ hai, khi chúng ta lần đầu tiên nâng cao độ cao của khóa học, chúng ta sẽ lấy kết quả từ đây, dán nó vào trong phần thứ hai và tiếp tục thao tác, do đó, nếu tôi xử lý tình huống kém vào lúc bạn và các bạn yên lặng, thì chúng ta sẽ phải làm lại toàn bộ bài hôm nay.

I would ask you when you follow this thing to do it actively. Try to be one step ahead of me. For example, if I'm struck by lightning, can you do anything? Can you guess what I'm going to say next? Do you have any idea where this is going? You should have a clue. If I die and you stop, that's not a good sign, okay. You've got to keep going a little further because you should follow the logic. So, for example, you know, I'm going to calculate next when it hits the ground. You should have some idea of how I'll do it. But this is not a spectator sport. If you just watch me, you're going to learn nothing. It's like watching the U.S. Open and thinking you're some kind of a player. You will have to shed the tears and

you've got to bang your head on the wall and go through your own private struggle. I cannot do that for you. I cannot even make it look hard because I have memorized this problem from childhood, so there is no way I can make this look difficult. That's your job.

Tôi sẽ hỏi bạn khi bạn theo dõi bài này làm nó hay không. Hãy cố gắng nghĩ về tôi một chút. Ví dụ, nếu tôi bắt đầu, bạn có thể làm gì không? Bạn có thể đoán rằng gì tôi sẽ nói tiếp theo không? Bạn có bất cứ ý tưởng nào về vị trí này của nó không? Bạn cần phải có một số điều. Nếu tôi chờ, và bạn đứng lại, đó không phải là một tín hiệu tốt, đúng không? Bạn nên tiếp tục đi xa hơn một chút vì bạn đã theo dõi logic. Vì vậy, ví dụ, bạn đã biết, tiếp theo tôi sẽ tính toán khi nào nó chạm đất. Bạn nên có một số ý tưởng về cách tôi sẽ làm điều đó. Nhưng đây không phải là môn thể thao thu hút nhiều khán giả. Nếu bạn chỉ nhìn tôi, bạn sẽ không học được gì. Hãy nghĩ xem gì quan trọng và nghĩ bạn là một người chơi nào đó. Bạn sẽ phải chọn một vị trí và bạn phải đi vào phòng và đi qua cuộc tranh luận riêng của bạn. Tôi không thể làm điều đó cho bạn. Tôi thậm chí không thể làm cho nó có vẻ khó vì tôi đã nhớ bài toán này từ thời thơ ấu, vì vậy không có cách nào tôi có thể làm cho nó khó. Đó là công việc của bạn.

All right. So, we know this point at one second is 20 meters, so let's just ask one other question and we'll stop. One other question may be, "When does it hit the ground and at what speed?" -- a typical physics question. So when does it hit the ground? Well, I think you must know now how to formulate that question. "When does it hit the ground" is "When is  $y = 0$ ?" By the way, I didn't tell you this but I think you know that I picked my origin to be here and measured  $y$  positively to be upwards and I called that 15 meters. You can call that your origin. If you call that your origin, your  $y_0$  will be 0, but ground will be called -15. So, in the end, the physics is the same but the numbers describing it can be different. We have to interpret the data differently. But the standard origin for everybody is the foot of the building. You can pick your origin here, some crazy spot. It doesn't matter. But some origins are more equal than others because there is some natural landmark there. Here, the foot of the building is what I call the origin. So, in that notation, I want to ask, when is  $y = 0$ ? I ask when  $y = 0$ , then I say  $0 = 15 + 10t - 5t^2$ . Or I'm canceling the 5 everywhere and changing the sign here I get  $t^2 - 2t - 3 = 0$ . That's when it hits the ground. So let's find out what the time is. So  $t$  is then  $2 \pm \sqrt{4 + 12}$  over 2, which is  $2 \pm \sqrt{16}$  over 2, which is -1 or 3. Okay, so you get two answers when it hits the ground. So it's clear that we should pick 3. But you can ask, "Why is it giving me a second solution?" Anybody have an idea why?

crisis. Vì vậy, chúng ta biết rằng thời gian này là 20 mét, do đó, chúng ta hãy hỏi ngay một câu hỏi khác và chúng ta sẽ đứng. Một câu hỏi khác có thể là, 'Khi nào nó chạm đất và với tốc độ bao nhiêu?' -- Một câu hỏi vật lý điển hình. Vì vậy, khi nào nó chạm đất? Vâng, bây giờ tôi nghĩ rằng bạn phải biết cách làm thành công thì câu hỏi đó. "Khi nào nó chạm đất" nghĩa là "Khi nào  $y = 0$ ?". Nhân đây, tôi đã không cho bạn biết bài này **nhưng tôi nghĩ rằng bạn biết rằng** tôi đã chọn gốc tọa độ của tôi đây và đứng là hướng lên và tôi nghĩ đó là 15 mét. Bạn có thể nghĩ đó là gốc tọa độ của bạn. Nếu bạn nghĩ đó là gốc tọa độ của bạn,  $y_0$  của bạn sẽ bằng 0, nhưng một số có thể là

-15. Vì vậy, cụ cùng, hiện tượng vật lý là như nhau nhưng các con số mô tả nó có thể khác nhau. Chúng ta phải ghi thích các dữ liệu khác nhau. Tuy nhiên, giả sử tiêu chuẩn cho mình là chân cửa tòa nhà. Bạn có thể chọn gốc tọa độ của bạn này, miễn là bạn chọn một gốc. Nếu gốc không quan trọng. Nhưng mỗi hệ tọa độ có giá trị khác nhau khác vì có một tham số tự nhiên nào đó. Vậy, tôi ghi chân cửa tòa nhà là gốc tọa độ. Vì vậy, theo quy tắc đó, tôi muốn hỏi, khi nào  $y = 0$ ? Tôi hỏi khi nào  $y = 0$ , thì tôi nói  $0 = 15 + 10t - 5t^2$ . Hoặc tôi nghĩ  $5$  mét mỗi giây và đi xuống đây tôi nhận  $5t^2 - 2t - 3 = 0$ . Đó là khi nó chạm đất. Vì vậy, hãy tìm thời gian bao nhiêu. Vâng tổng  $2 + h$  hoặc  $-h$  hoặc  $+12$  trên  $2$ , nó là  $2 + h$  hoặc  $-4$  trên  $2$ , bằng  $-1$  hoặc  $3$ . Bởi vì, do đó, bạn có hai câu trả lời khi nó chạm đất. Vì vậy, rõ ràng là chúng ta sẽ chọn  $3$ . Nhưng bạn có thể hỏi, “Tại sao nó lại mang lại cho tôi nghi ngờ hai?” Có ai biết tại sao không?

**Student:** Because there was an entire parabola [inaudible]

Bởi vì nó là toàn bộ một parabol

**Professor Ramamurti Shankar:** That's correct. So her answer was, if it was a full parabola, then we know it would've been at the ground before I set my clock to 0. First of all, negative time should not bother anybody;  $t = 0$  is when I set the clock, I measured time forward, but yesterday would be  $t = -1$  day, right? So we don't have any trouble with negative times. So the point is, this equation, it does not know about the building. Doesn't know the whole song and dance that you went to a building and you threw up a rock or anything. What does the mathematics know? It knows that this particle happened to have a height of 15, a time 0, and a velocity of 10, a time 0, and it is falling under gravity with an acceleration of  $-10$ . That's all it knows. If that's all it knows, then in that scenario there is no building or anything else; it continues a trajectory both forward in time and backward in time, and it says that whatever seconds, one second before you set your clock to 0, it would've been on the ground. What it means is if you'd release a rock at that location one second before with a certain speed that we can calculate, it would've ended up here with precisely the position and velocity it had at the beginning of our experiment.

Chính xác. Vâng câu trả lời của cô ấy là, nếu nó là một parabol, thì suy ra nó sẽ đi xuống đất trước khi tôi thì đặt đồng hồ của tôi bằng 0. Trước hết, thời gian âm không quấy rối ai;  $t = 0$  là khi tôi bấm giờ, tôi đo thời gian hướng về tương lai, nhưng hôm qua sẽ là  $t = -1$  ngày, phải không? Vì vậy, chúng ta không có bất kỳ vấn đề gì về thời gian âm. Vì vậy, bạn này đây là, quá trình này, nó không biết gì về tòa nhà. Không biết về toàn bộ bài hát và khiêu vũ mà bạn đã ở tòa nhà và bạn đã ném một hòn đá lên hay bất cứ thứ gì. Toán học biết cái gì? Nó biết rằng hạt này đang thì có chiều cao 15, thì thì đi xuống 0, và vận tốc bằng 10, thì thì đi xuống 0, và nó rơi đi tác động của trọng lực với gia tốc  $-10$ . Đó là tất cả những gì nó biết. Nếu đó là tất cả những gì nó biết, thì trong ví dụ này nó không có tòa nhà hoặc bất cứ thứ gì khác, nó vẫn tiếp tục một quỹ đạo của nó đi xuống theo thời gian và nó nói rằng bất cứ giây nào, một giây trước khi bạn thì đặt đồng hồ của bạn là 0, nó sẽ chạm đất. Nhưng gì nó muốn nói là nếu bạn thì hòn đá đi xuống thì đó là một thời điểm nào đó một giây trước khi chúng ta có thể tính, nó sẽ kết thúc trên đây về vị trí và vận tốc đúng như lúc bắt đầu thí nghiệm.



So sometimes the extra solution is very interesting and you should always listen to the mathematics when you get extra solutions. In fact, when a very famous physicist, Paul Dirac, was looking for the energy of a particle in relativistic quantum mechanics, he found the energy of a particle is connected to its momentum, this  $p$  is what we call momentum, and its mass by this relation. It's a particle of mass  $m$  and momentum  $p$  has this energy so you solve for the energy, you get two answers. Now, your temptation is to keep the first answer because you know energy is not going to be negative. Particle's moving, it's got some energy and that's it. But the mathematicians told Dirac, "You cannot ignore the negative energy solution because it tells you there's a second solution and you cannot throw them out," and it turns out the second solution, with negative energy, was when the theory is telling you, hey, there are particles and there are anti-particles, and the negative energy when properly interpreted will describe anti-particles. So the equations are very smart.

Vì vậy, th nh tho ng các nghi m ph r t lí thú và các b n nên luôn luôn l ng nghe toán h c khi b n nh n c các nghi m ph . Trong th c t , khi m t nhà v t lý h c r t n i tí ng, Paul Dirac, ang tìm n ng l ng c a h t trong c h c l ng t t ng i tính, ông ã tìm th y n ng l ng c a m t h t g n v i ng l ng c a nó, p này là ng l ng, và kh i l ng c a nó qua h th c này. ó là m t h t kh i l ng m và ng l ng p có n ng l ng này và b n có th gi i tìm n ng l ng, b n s nh n c hai k t qu . Bây gi , có cái gì ó xúi gi c b n nên gi câu tr l i u tiên b i vì b n bi t n ng l ng s không th âm. H t ang chuy n ng, nó c nh n n ng l ng nào ó và ó là nó. Nh ng toán h c ã nói v i Dirac, "B n không th b qua các nghi m n ng l ng âm vì nó cho b n bi t ó là nghi m th hai và b n không th v t chúng i", và hóa ra là nghi m th hai, v i n ng l ng âm, là lúc lí thuy t nói v i b n, hey, có h t và có ph n h t, và n ng l ng âm khi c gi i thích úng s mô t ph n h t. Vì vậy, các ph ng trình r t thông minh.

The way the physics works is you will find some laws of motion in mathematical form, you put in the initial conditions of whatever, you solve the equations, and the answer that comes, you have no choice. You have to accept the answer, but there are new answers besides the one you were looking for. You've got to think about what they mean, and that's one of the best things about physics because here's a person who is not looking for anti-particles. He was trying to describe electrons, but the theory said there are two roots in the quadratic equation and the second root is mathematically as interesting as the first one. It has to be part of a theory, and then trying to adjust it so it can be incorporated, you discover anti-particles. So always amazing to us how we go into the problem, our eye or mind can see one class of solutions, but the math will tell you sometimes there are new solutions and you've got to respect it and understand and interpret the unwanted solutions, and this is a simple example where you can follow what the meaning of the second solution is. It means that to the problem you pose, there's more than the answers that you could imagine. Here it meant particle that was released from the ground earlier. There it meant something much more interesting, mainly anti-particles accompanying particles. They are going to accompany particles surely as every quadr atic equation has two solutions.

Cách thức mà các nhà vật lý làm việc là tìm kiếm sự nhuật chuyển ứng dụng toán học, dựa vào các intuition ban đầu, bản năng các phương trình, và nghiên cứu, bản năng không có sẵn là cần. Bản năng chấp nhận nghiên cứu, nhưng cố gắng nghiên cứu bên ngoài cái mà bản năng tìm kiếm. Bản năng suy nghĩ xem chúng có ý nghĩa gì, và đó là một trong những thách thức vật lý vì suy cho cùng mục đích của Dirac không phải là tìm kiếm phương trình. Ông đang cố gắng mô tả các electron, nhưng lý thuyết nói rằng có hai nghiên cứu trong phương trình bậc hai và vật toán học nghiên cứu hai lý thuyết nghiên cứu thực tế. Nó phải là một phần của lý thuyết, và sau đó cố gắng hiểu nó nó có thể kết nối, bản khám phá ra các phương trình. Vì vậy chúng ta luôn luôn sẵn sàng khi chúng ta tìm hiểu sâu hơn về nó, một hay tâm trí của chúng ta có thể thay đổi các nghiên cứu, nhưng đôi khi toán học sẽ cho bạn những nghiên cứu mới và các bản năng tôn trọng nó và hiểu và ghi nhớ thích các nghiên cứu không mong muốn, và đây là một ví dụ điển hình, trong đó bạn có thể theo dõi nghiên cứu hai có ý nghĩa gì. Nó có nghĩa là bài toán mà bạn đưa ra, cố gắng hiểu một câu trả lời mà bạn có thể tưởng tượng. Đây nó có nghĩa là hết sức thử nghiệm tất cả các điều kiện. Đó nó muốn nói rằng hiểu về những vấn đề này, chỉ yêu cầu các phương trình kèm theo thực tế. Chúng sẵn sàng với các hệ thống chính xác những phương trình bậc hai có hai nghiên cứu.

All right, so now in this problem, we can do something slightly different, and let's use this expression here, and I will do that, then I'll stop for today. If you were asking questions, like, how high does it go, but you don't ask when does it go to the highest point, then you don't have to go through the whole process of finding the time at which it turned around. I don't know where that is, that disappeared on the blackboard, then putting the time equal to 1 second into this formula. If the question of time is not explicitly brought up, then you should know that you have to use this formula. So how do we get it here? Well, we say at the top of the loop, when it goes up and comes down the velocity is 0. Therefore, you say  $0^2 = \text{initial velocity}^2 + 2 \text{ times } -g, \text{ that's my acceleration, times } y - y_0$ . If you solve for that, you find  $y - y_0 = v_0^2 \text{ over } 2g$ , and if you put in the  $v_0$  I gave you, which was what, 10? That's 100 over 20, which is 5 meters. So  $y = y_0 + 5$  meters, and that was the height to which it rises. I think we got it somewhere else. We found the maximum height to be 20 meters. Another thing you can do is you can find the speed here. If you want to find the speed there, you put the equation  $v^2 = v_0^2 + 2 \text{ times } -g (y - y_0)$ . What is  $y - y_0$ ? The final  $y$  is 0, the initial  $y$  is 15. You solve for that equation and you will find the final velocity. So, if time is not involved, you can do it that way.

cr i, vì vậy bây giờ trong bài toán này, chúng tôi có thể làm điều gì đó khác, và chúng ta hãy sử dụng biểu thức này, và tôi sẽ làm điều đó, sau đó tôi sẽ kết thúc buổi học hôm nay. Nếu bạn đặt câu hỏi, chẳng hạn như, nó đi lên cao bao nhiêu, nhưng bạn không hỏi khi nào nó đi lên cao nhất, thì bạn không cần xem xét toàn bộ quá trình tìm thời gian nó quay lại. Tôi không biết đó là gì, nó bị ném lên trên bảng, sau đó thời gian bảng 1 giây trong công thức này. Nếu câu hỏi về thời gian không cần nêu ra rõ ràng, thì bạn nên sử dụng công thức này. Vì vậy chúng ta nhận ra nó đây như thế nào? Vâng, chúng ta thay thế vào cao nhất, vận tốc bằng 0. Vì vậy, bạn có  $0^2 = v \text{ vận tốc ban đầu bình} + 2 \text{ lần } -g$ , đó là gia tốc của tôi, nhân  $y - y_0$ . Nếu bạn ghi cái đó, bạn tìm thấy  $y - y_0 = v_0^2 \text{ bình trên } 2g$ , và thế vào, bao nhiêu, 10? Bằng 100 trên 20, bằng 5 mét. Vì vậy,  $y = y_0 + 5$  mét, và đó là chiều cao mà nó đi lên. Tôi nghĩ

chúng ta nhận nó ra một cách khác. Chúng ta tìm thấy chiều cao của nó là 20 mét. Một cách khác mà bạn có thể làm là bạn có thể tìm thấy nó. Nếu bạn muốn tìm thấy nó, bạn đưa vào phương trình  $v^2 = v_0^2 + 2ln - g(y - y_0)$ .  $y - y_0$  bằng bao nhiêu?  $y$  của nó cùng bằng 0,  $y$  ban đầu bằng 15. Bạn giải phương trình đó và bạn sẽ tìm được  $v$  và  $t$  của nó cùng. Vì  $v$ ,  $y$ ,  $n$  và  $t$  là các biến không cho, bạn có thể làm bài toán theo cách đó.

I want to derive the last result in another way, then I will stop, and that's pretty interesting because it tells you the use and abuse of calculus. So I'm going to find for you this result using calculus in a different way. So, from the calculus we know  $dv/dt = a$ . Now, multiply both sides by  $v$ . Now you have to know from elementary calculus that  $v$  times  $dv/dt$  is really  $d$  by  $dt$  of  $v^2$  over 2. Now, I hope you guys know that much calculus, that when you take a derivative of a function of a function, namely  $v^2$  over 2 is a function of  $v$ , and  $v$  itself is a function of  $t$ , then the rule for taking the derivative is first take the  $v$  derivative of this object, then take the  $d$  by  $dt$  of  $t$ , which is this one. On the right-hand side, I'm going to write as  $a dx/dt$ . This much is standard.

Tôi muốn rút ra kết quả của nó cùng theo cách khác, sau đó tôi sẽ dừng, và điều đó khá thú vị, vì nó cho bạn biết về các số và làm đúng gì đó. Vì vậy, tôi sẽ tìm cho bạn kết quả này bằng cách số học khác. Vâng, tôi giải thích chúng ta biết  $dv/dt = a$ . Bây giờ, nhân cả hai vế với  $v$ . Bạn sẽ biết rằng tích của  $v$  nhân  $dv/dt$  thực ra là  $d$  trên  $dt$  của  $v^2$  trên 2. Bây giờ, tôi hy vọng bạn biết rằng khi bạn lấy đạo hàm của một hàm của một hàm, chẳng hạn  $v^2$  trên 2 là một hàm của  $v$ , và chính  $v$  là một hàm của  $t$ , thì quy tắc lấy đạo hàm là lấy đạo hàm của  $v$  nhân với đạo hàm của  $t$  này, sau đó lấy  $d$  trên  $dt$  của  $t$ , kết quả bạn sẽ thấy là  $adx/dt$ . Chẳng hạn này là tiêu chuẩn.

I'm going to do something which somehow we are told never, ever to do, which is to just cancel the  $dt$ s. You all know that when you do  $dy/dx$ , you're not supposed to cancel that  $d$ . That's actually correct. You don't want to cancel the  $d$  in the derivative. But this happens to be completely legitimate, so I'm going to assume it's true and I'll maybe take a second and explain why it's legitimate. What this really means is in a given time,  $t$ , the change in this quantity is  $a$  times the change in this quantity. Therefore, you can multiply both sides by the  $t$ , but the only thing you should understand is  $t$ , as long as it's small and finite, will lead to some small infinite errors in the formula, because the formula is really the limit in which  $x$  and  $t$  both go to 0. So what you have to do is multiply both sides by  $t$ , but remember it's got to be in the end made to be vanishingly small. As long as we understand that, we can do this cancellation and this says on the left-hand side the change in the quantity  $v^2$  over 2 is  $a$  times the change in the quantity  $x$ . So add up all the changes or what you mean by integral. Same thing. Add up all the changes. The change in  $v^2$  over 2 will be the final  $v^2$  over 2 - the initial  $v^2$  over 2 and the other side will be  $a$  times change in  $x$ ;  $x - x^0$  and that's the formula I wrote for you:  $v^2$  is  $v_0^2 + 2a(x - x^0)$ .

Tôi sẽ làm vài thứ mà vì một lý do nào đó chúng ta khuyên là không bao giờ nên làm, chẳng hạn các  $dt$ . Tất cả các biến của nó khi bạn thấy  $dy/dx$ , bạn không được phép hủy nó. Điều đó thực sự chính xác. Bạn không muốn hủy nó trong đạo hàm. Nhưng điều này ngẫu nhiên hoàn toàn có lý, vì vậy tôi sẽ giải thích nó và có lẽ tôi sẽ lấy hai và giải thích tại sao nó hợp lý. Cái này có nghĩa là trong thời gian nhất định,  $t$ ,  $s$

thay  $ic a il$  ng này b ng a nhân  $v is$  thay  $ic a il$  ng này. Vì th , b n có th nhân c hai v v i t, nh ng th duy nh t mà b n nên hi u là t, mi n là nó nh và h u h n, s d n n m t s l i không xác nh nh trong công th c, b i vì công th c th c s là gi i h n trong ó c x và t ti n n 0. Vì v y, nh ng gì b n ph i làm là nhân c hai v v i t, nh ng hãy nh cu i cùng nó ph i c cho ti n t i 0. Mi n là chúng ta hi u i u ó, chúng ta có th th c hi n phép kh này và h th c này có ngh a là v trái s thay  $ic a il$  ng v bình trên 2 b ng a nhân  $v is$  thay  $ic a il$  ng x. Vì v y c ng thêm t t c các thay i ho c tích phân. T ng ng nhau. C ng t t c các thay i. S thay  $ic a v$  bình trên 2 cu i cùng s là v bình trên 2 - ban u v bình trên 2 và v kia s là a nhân  $v is$  thay  $ic a x; x - x_0$  và ó là công th c tối ã vi t cho b n: v bình b ng  $v_0^2 + 2a(x - x_0)$ .

So, the point is whenever you have derivatives with something over  $dt$ , do not hesitate to cancel the  $dt$ s and think of them as  $v^2$  over 2 is equal to  $a$  times of  $x$ . This will be actually true as long as both quantities are vanishingly small. They will become more and more true as  $x$  and  $v^2$  become vanishingly small, in the limit in which they are approaching 0, the two will be, in fact, equal. If  $x$  is a finite amount, like 1 second, this will not be true because in the starting equation,  $x$  and  $t$  and  $v^2$  were all assumed to be infinitesimal. So don't hesitate to do manipulations of this type, and I will do them quite often. So you've got to understand when it's okay and when it's not okay. What this means is, in a time  $t$ , this quantity changes by some amount, and in the same time,  $t$ , that quantity changes by some amount, then keeping the  $t$  equal to some number we may equate the changes of the two quantities, provided it is understood that  $v^2$  over 2 is a change in  $v^2$  over 2 in the same time in which the particle moved a distance,  $x$ . Adding the differences, we eliminate time and we get this final result.

Vì v y, v n ây là b n có o hàm c a cái gì ó theo  $dt$ , ng ng n ng i b các  $dt$  và xem chúng nh v bình trên 2 b ng a nhân  $x$ . i u này s th c s úng khi c hai  $il$  ng c c kì nh . Chúng s càng tr nên úng h n khi  $x$  và v bình tr thành c c kì nh , trong gi i h n mà ó chúng ti n t i 0, qu th c, hai cái s b ng nhau. N u  $x$  là m t s l ng h u h n, ch ng h n nh 1 giây, i u này s không úng b i vì trong ph ng trình ban u, t t c x và t và v bình c gi s là r t nh . Vì v y, không ng n ng i thao tác nh th này, và tôi s làm chúng khá th ng xuyên. Vì v y, b n ph i hi u khi nào nó ok và khi nào nó không ok. Nh ng gì i u này mu n nói là, trong th i gian  $t$ ,  $il$  ng thay i m t l ng nào ó, và c ng trong kho ng t ó,  $il$  ng ó thay  $il$  ng nào ó, thì gi t b ng m t s nào ó mà chúng ta có th tính s thay  $ic a$  hai  $il$  ng, mi n là nó c hi u là v bình trên 2 là s thay  $ic a v$  bình trên 2 khi h t di chuy n m t kho ng cách,  $x$ . C ng nh ng y u t vi phân, chúng ta lo i b th i gian và chúng ta nh n c k t qu cu i cùng này.

All right. So if you go to your website today, you will find I've assigned some problems and you should try to do them. They apply to this chapter. Then next week we'll do more complicated problems that involve motion in higher dimensions, how to go to two dimensions or three dimensions.

c r i. Vì v y, n u b n i n trang web hôm nay, b n s th y tôi ã phân công m t s bài t p và b n nên c g ng làm chúng. Chúng áp d ng vào ch ng này. Tu n t i chúng ta s làm nh ng bài t p ph c t p h n liên quan n chuy n ng theo nhi u chi u h n, cách i t i hai chi u ho c ba chi u.