

<https://www.youtube.com/watch?v=cPgXeeBmPNQ>

Největší nápady ve vesmíru – se Seanem Carrollem

Královská instituce

316 738 zhlédnutí **od 06.10.2022 do 21. 11. 2022** (za 45 dní 316 000 osob, tj. cca 7000 osob denně. To je výkon ! Já mám 5-6 osob denně, z toho polovina jsou jen čumilové)

Připojte se k Seanu M Carrollovi, který zkoumá hluboké otázky o vesmíru a vymezuje rámec klasické fyziky od Euklida a Galilea po Newtona a Einsteina. Podívejte se na otázky a odpovědi pro toto video zde: • Otázky a odpovědi: Největší nápady ve vesmíru...

Seanova nejnovější kniha „Největší nápady ve vesmíru 1: Prostor, čas a pohyb“ je nyní k dispozici: <https://geni.us/V3Or>

Přihlaste se k odběru pravidelných vědeckých videí: <http://bit.ly/RiSubscRibe>

Objevte myšlenky, které změnily náš pohled na přírodu a pomohly nám získat hlubší vhled do fungování vesmíru. V této přednášce Sean diskutuje o fyzikálních zákonech, jak jste jim nikdy předtím nerozuměli.

Tento přímý přenos byl nahrán **6. října 2022.**

(01)- Sean Carroll je Homewood profesorem přírodní filozofie na Johns Hopkins University. Za knihu o hledání nepolapitelného Higgsova bosonu „Částice na konci vesmíru“ a „Velký obrázek“ se stal mezinárodním bestsellerem a získal Wintonovu cenu Royal Society. Sean žije v Baltimoru. thank you thank you very much Lisa and enormous thanks to the Royal Institution my heart is breaking that I'm sitting here at my house in Baltimore as nice as it is I would much rather be there in person in London but uh hopefully that will be able to happen soon I've given a couple of talks there uh in the theater and I miss it very much so hopefully before too long this talk is to help celebrate the appearance of this new book the biggest ideas in the universe there are a lot of Big Ideas that I could choose from so I have to narrow it down and the Criterion was that the characteristic of this book as you will very quickly discover if you order it is that it is full of equations we did not shy away from including the equations that underlie modern physics so I want to pick an idea illustrated by an equation and what better equation to use than Einstein's equation now you might think that you know you've been exposed to Einstein's equation famously $E = mc^2$ the energy of an object is its mass times the speed of light squared if the object is at rest but here's one secret right away which is that two physicists this is not Einstein's equation this is a perfectly good equation and Einstein is responsible for it but it's not his most or best or leadingly important equation that's this equation this is the equation for the geometry of space time according to general relativity Einstein's theory of gravity if you were to say it out loud it would be $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$ my goal for the next hour is to explain this equation to you in a way that you understand what all of the symbols mean there's a lot of symbols here a lot more letters and numbers than there is in the little equation some of them are in Greek for goodness sake they're all however completely understandable as long as you are willing to just make a little bit of effort especially if you have an expert guide so think of

you as Dante and me as Virgil and we're leading into these uh treacherous Waters the people down here trying to climb on the boat those are the equations don't worry about them we'll handle them we we know what we're doing here it's actually going to be a much more rewarding and transparent Journey than you might think so a good place to start talking about Einstein's equation is what it was sort of replacing and that was gravity in the context of classical mechanics classical mechanics was a theory put together over the course of a long time but it really culminated in Isaac Newton's work in principia Mathematica in the 1600s and if he had a single equation that he should be most proud of it's what we call Newton's second law of motion the first law just says if nothing is acting on you you go in a straight line to constant velocity the second law says if something does act on you if a force nudges you then you will accelerate you will not go to constant velocity you will be pushed around a little bit and the second law is a quantum vacation of that it says f equals m a force equals mass times acceleration so in some sense it's an even simpler question equation than E equals $m c$ squared right just three symbols there's a tiny complication because F and a have little arrows over them that's indicating that these are actually Vector quantities they have both a magnitude and a direction or if you like you can think of each one of these quantities the force and the acceleration as three numbers the force in the X Direction the force in the y direction the force in the Z Direction the components of the vector if you like but for right now we're going to get into that later but for right now we're just going to bundle it up as scientists like to do put a little arrow over the symbol and call it a single thing the force Vector is mass of the object times the acceleration vector so what is so great about this equation and there's many great things but let me highlight two of them one is the Precision so the idea of this equation in words might be the more Force you exert on something the faster you accelerate or the more dramatically you accelerate and The more mass something has the more Force you have to put on it to accelerate it but it's not just those words it is a very precise statement of proportionality between force and acceleration this equation implies that if you give twice the force to an object it will accelerate by exactly twice as much and it's that kind of Quantic

.....

(01)- Sean Carroll je Homewood profesorem přírodní filozofie na Johns Hopkins University. Za knihu o hledání nepolapitelného Higgsova bosonu „Částice na konci vesmíru“ a „Velký obrázek“ se stal mezinárodním bestsellerem a získal Wintonovu cenu Royal Society. Sean žije v Baltimoru. Děkuji moc děkuji Liso a obrovské díky Královské instituci mi trhá srdce, že sedím tady ve svém domě v Baltimoru tak hezky, jak je, mnohem raději bych tam byl osobně v Londýně, ale doufejme, že se to brzy podaří, měl jsem tam pár přednášek v divadle a moc mi to chybí, takže doufám, že zanedlouho tato přednáška pomůže oslavit vznik této nové knihy. Vesmír existuje spousta velkých nápadů, ze kterých jsem si mohl vybrat, takže jsem to musel zúžit a kritériem bylo, že charakteristikou této knihy, jak velmi rychle zjistíte, pokud si ji objednáte, je to, že je plná rovnic, které jsme neměli vyhýbejte se zahrnutí rovnic, které jsou základem moderní fyziky, takže chci vybrat myšlenku ilustrovanou rovnicí a jakou lepší rovnicí použít než Einsteinovu rovnici, teď si možná myslíte, že víte, že jste byli vystaveni Einsteinově rovnici, E se rovná MC na druhou energie objektu je jeho hmotnost krát druhá mocnina rychlosti světla, pokud je objekt v klidu, ale tady je hned jedno tajemství, které je, že dva fyzici, to není Einsteinova rovnice, je to dokonale dobrá rovnice a Einstein je za ni zodpovědný, ale není to jeho nejdůležitější nebo nejlepší nebo nejdůležitější rovnice, to je tato

rovnice toto je rovnice pro geometrii časoprostoru podle obecné teorie relativity Einsteinova teorie gravitace, kdybyste to řekli nahlas, bylo by to **R mu Nu minus jedna polovina r g mu Nu se rovná osmi Pi g t mu nu** mým cílem pro příští hodinu je vysvětlit vám tuto rovnici tak, abyste pochopili, co všechny symboly znamenají, je zde mnoho symbolů mnohem více písmen a číslic, než je v malé rovnici některé z nich jsou v řečtině, proboha, všechny jsou však naprosto srozumitelné, pokud jste ochotni vyvinout trochu úsilí, zvláště pokud máte odborného průvodce, takže si o vás považujte Danteho a mě jako Virgila a my vedou do těchto zrádných vod, lidé tady dole se snaží vylézt na loď, to jsou rovnice nebojte se o ně my si s nimi poradíme víme, co tady děláme, ve skutečnosti to bude mnohem víc obohacující a transparentní Journey, než si možná myslíte, dobré místo, kde začít mluvit o Einsteinově rovnici, je to, co svým způsobem nahradila, a to byla gravitace v kontextu klasické mechaniky klasická mechanika byla teorie sestavená v průběhu dlouhé doby, ale skutečně to vyvrcholilo prací **Isaaca Newtona v principia Mathematica** v 17. století, a pokud měl jedinou rovnici, na kterou by měl být nejvíce hrdý, je to to, čemu říkáme **druhý Newtonův pohybový zákon**, **první zákon** říká, že pokud na vás nic nepůsobí, jdete dovnitř přímka na konstantní rychlost, **$m \cdot v = \text{const.}$** **druhý zákon** říká, že pokud na vás něco působí, když do vás šťouchne síla, pak zrychlíte nepůjdete na konstantní rychlost, budete trochu tlačeni a druhý zákon je kvantovou dovolenou toho říká, že f se rovná m síla se rovná hmotnost krát zrychlení, **$F = m \cdot a$** takže v určitém smyslu je to ještě jednodušší rovnice otázky než E se rovná m c na druhou, **$E = m \cdot c^2$** jen tři symboly je tu malá komplikace, protože F a a mají nad sebou malé šipky, které označují, **že se ve skutečnosti jedná o vektorové veličiny** mají **velikost i směr**, nebo chcete-li, můžete si každou z těchto veličin představit síla a zrychlení jako tři čísla síla ve směru X síla ve směru y síla ve směru Z složky vektor, chcete-li, ale pro tuto chvíli se do toho pustíme později, ale teď to jen seskupíme, protože vědci rádi umístí na symbol malou šipku a nazvou to jedinou věcí vektor síly je hmotnost objektu krát vektor zrychlení, takže co je na této rovnici tak skvělé a je tu mnoho skvělých věcí, ale dovolu mi zdůraznit dvě z nich, jedna je přesnost, takže myšlenka této rovnice ve slovech může být tím větší silou, kterou vynaložíte na něčem čím rychleji zrychlujete nebo čím dramatičtěji zrychlujete a čím větší hmotnost má něco, tím větší sílu na to musíte vyvinout, abyste to zrychlili, ale nejsou to jen ta slova, **je to velmi přesné vyjádření úměrnosti mezi silou a zrychlením** tato rovnice znamená, že pokud dáte objektu dvojnásobnou sílu, zrychlí se přesně dvakrát tolik a je to takový kvantový

.....

(02)- quantification and precision that is necessary if you want to for example fly a rocket to the moon and this equation was behind exactly that so it's an idea that sort of sneaked into physics relatively late in the game the idea that we should discuss laws of physics the patterns that govern the real world in terms of these highly quantifiable relationships perfectly precise and rigorous but then the other thing that is very important about it because it's not just a mathematical expression it's a law of physics and what that means means is that it's Universal it's not just saying that some particular force is accelerating some particular object it's saying any time you exert a force on any object with any mass in the universe it will accelerate in a way that obeys this equation the very existence of relationships like that is kind of amazing all by itself and they are captured in a little tiny concrete poem in the form of equations like this here's another equation that you might be familiar with this is slightly more complicated but in spirit it's very similar this is the law of gravity the Newton put forward if you think about

his law of motion says Force equals mass times acceleration that's great but you can't actually do anything with it until you know what the force is so the law of gravity tells us what the force do to gravity is if you have two objects let's say a heavy one with mass capital m a little one with mass Little M so the heavy one is pulling the little one their distance R apart then Isaac Newton says that the force between them is proportional to the mass of the big one times the mass of the little one divided by the distance between them squared it is the so-called inverse Square law and the constant of proportionality big g capital G is Newton's constant of gravity the idea that Newton discovered gravity by watching an apple fall from a tree was actually one that was promulgated by Newton himself but the importance of that story is not that no one had noticed gravity before the importance is that what Newton realized is that the same phenomenon and indeed the same equations can be used to explain apples falling from trees as also explains the Motions of planets around the Sun that's why it's important that this is a universal law of gravity it's doing the work everywhere and already just from these two equations $f = ma$ and the inverse Square law here we learn something very profound about gravity namely that if you say $f = ma$ and $f = g \frac{M m}{r^2}$ you can do math to this equation you can divide by Little M on both sides they cancel out and what you get is an equation for the acceleration of an object in a gravitational field caused by another object in which the mass of the object being accelerated doesn't appear anywhere so if you take a a hammer and a feather and you drop them Isaac Newton says that they will be accelerated by the force of gravity by exactly the same amount it doesn't matter that one is heavier than the other now in the real world you can do this experiment it's not true they do not fall at exactly the same rate but Galileo and Newton and others were able to explain that's only because of air resistance if you were up on the moon and dropped a hammer and a feather they would fall at the same rate and indeed Apollo 15 astronauts actually did this experiment this is a painting of it not a photograph because the photographs they took were not very high resolution but Newton was right when he actually did the experiment so this is a profound feature of gravity that we're going to take advantage of very very quickly but this fact that it doesn't matter what the mass is Everything feels the same acceleration due to gravity is very very deep it wouldn't be true for the electrical force for example under electricity positive charges and negative charges react differently whereas under Gravity everything reacts in the same way gravity is universal in a very deep way okay that was the Triumph of Newton time passes that's the late 1600s we skip ahead to 1905. in 1905 this is Albert Einstein's miraculous year where he writes a series piece of papers on many different subjects quantum mechanics and molecular motion and of course special relativity special relativity is a theory that again we had been creeping up on but it was Einstein who really figured it out once and for all in 1905 and what he says is motion is relative not absolute again this is a pre-existing idea that people had but the new idea is that the speed of light is absolute so motion is absolute you could not say how fast you're going in the world except relative to some other object with the exception that everyone agrees on the

.....
(02)- kvantifikace a přesnost, která je nezbytná, pokud chcete například letět raketou na Měsíc a přesně za tím stála tato rovnice, takže je to nápad, který se do fyziky vkradl poměrně pozdě ve hře, myšlenka, o které bychom měli diskutovat zákony fyziky vzory, které řídí skutečný svět z hlediska těchto vysoce kvantifikovatelných vztahů, jsou dokonale přesné a rigorózní, ale další věc, která je na tom velmi důležitá, protože to není jen matematický výraz, je to fyzikální zákon a to, co to znamená, je že je univerzální, není to jen tím, že se říká, že

nějaká konkrétní síla urychluje nějaký konkrétní objekt, ale říká se, že **kdykoli** působíte silou na **jakýkoli** objekt s jakoukoli hmotností ve vesmíru, zrychlí se způsobem, který se řídí touto rovnicí samotnou existenci takových vztahů je tak trochu sama o sobě úžasná a jsou zachycena v malé maličké konkrétní básni ve formě rovnic, jako je tato, zde je další rovnice, kterou možná znáte, je o něco složitější, ale v duchu je velmi podobná, toto je zákon gravitace Newton předložený, pokud přemýšlíte o jeho zákonu pohybu říká, že **Síla se rovná hmotnost krát zrychlení**, to je skvělé, ale ve skutečnosti s tím nemůžete nic dělat, dokud nezjistíte, co je to síla, takže zákon gravitace nám říká, co síla dělá s gravitací pokud máte dva objekty, řekněme těžký s velkým hmotnostním m , malý s hmotností Malý M , takže ten těžký táhne malý od sebe o vzdálenost R , pak Isaac Newton říká, že síla mezi nimi je úměrná hmotnosti objektu. Velký jeden krát hmotnost malého dělená vzdáleností mezi nimi na druhou je to takzvaný inverzní čtvercový zákon a **konstanta úměrnosti velké g velké G je Newtonova gravitační konstanta** myšlenka, že Newton objevil gravitaci sledováním pádu jablka ze stromu byl ve skutečnosti ten, který byl vyhlášen samotným Newtonem, ale důležitost tohoto příběhu nespočívá v tom, že si nikdo nevšiml gravitace dříve, důležité je, že si Newton uvědomil, že stejný jev a skutečně stejné rovnice lze použít k vysvětlení jablek. Pád ze stromů, jak také vysvětluje pohyby planet kolem Slunce, proto je důležité, **že se jedná o univerzální gravitační zákon**, funguje to všude a už jen z těchto dvou rovnic f se rovná m a a inverzního čtvercového zákona se zde dozvíme něco velmi hluboké o gravitaci, konkrétně to, že když řeknete, že f se rovná ma a f se rovná g Velké M Malé M nad r na druhou krát jednotka Vektor, můžete s touto rovnicí počítat, můžete vydělit malým M na obě strany, které se vyruší a dostanete je rovnice pro zrychlení objektu v gravitačním poli způsobeném jiným objektem, ve kterém se hmota urychlovaného objektu nikde neobjevuje, takže když vezmete kladivo a pero a pustíte je, Isaac Newton říká, že budou zrychleny gravitační silou přesně o stejnou hodnotu nezáleží na tom, že jeden je těžší než druhý, nyní v reálném světě můžete provést tento experiment, není pravda, že nepadají přesně stejnou rychlostí, ale Galileo a Newton a jiní byli schopni vysvětlit, že je to jen kvůli odporu vzduchu, pokud byste byli nahoře na Měsíci a upustili byste kladivo a pero, dopadaly by stejnou rychlostí a astronauti z Apolla 15 skutečně tento experiment provedli, toto je jeho malba, nikoli fotografie protože fotografie, které pořídili, neměly příliš vysoké rozlišení, ale Newton měl pravdu, když experiment skutečně provedl, takže toto je hluboká vlastnost gravitace, kterou velmi rychle využijeme, ale tato skutečnost, **že nezáleží na tom, co hmotnost je. Vše pociťuje stejné zrychlení vlivem gravitace je velmi velmi hluboké to by neplatilo pro elektrickou sílu**, například pod elektřinou reagují kladné náboje a záporné náboje odlišně, zatímco při gravitaci vše reaguje stejným způsobem gravitace je univerzální v velmi hluboko v pořádku, to byl triumf Newtona, čas plyne, to je konec 17. století, přeskočíme do roku 1905. V roce 1905 je to zázračný rok Alberta Einsteina, kdy píše sérii článků o mnoha různých předmětech kvantová mechanika a molekulární pohyb a samozřejmě speciální teorie relativity speciální teorie relativity je teorie, ke které jsme se opět plížili, ale **byl to Einstein, kdo na to skutečně jednou provždy přišel v roce 1905 a to, co říká, je pohyb je relativní, nikoli opět absolutní**, to je již dříve existující myšlenka, že lidé měl, ale novou myšlenkou je, že **rychlost světla je absolutní**, takže **pohyb je absolutní**, takže nemůžete říct, jak rychle jdete na světě, s výjimkou relativního k nějakému jinému objektu, s výjimkou, že všichni souhlasí

.....

(03)- speed of light even if two objects or two observers are moving relative to each other if a beam of light passes them they would measure that light Ray going at the same speed this is kind of counter-intuitive and it boggles your mind like why don't the speeds add together in the normal way and what Einstein was able to explain is it all makes perfect sense all you have to do is revise your intuitive conceptions of space and time okay and this leads to all of the fun aspects of special relativity like length contraction time dilation all of those things it can get a little bit confusing but it all does hang together very nicely and in fact I would say that the final word in special relativity wasn't even given by Einstein in 1905 it was given by Herman Minkowski in 1907. Minkowski it turns out had been one of Einstein's professors back at the University he was a mathematics professor unlike Einstein who is a physicist Minkowski is more mathematically inclined than it was Minkowski who realized that he could take Einstein's theory and say the right way to think about this theory is as a unification of space and time into a single thing called space-time and the differences between space and time arise because there's a novel geometry on SpaceTime so his famous quote is that henceforth Space by itself and Time by itself are doomed to fade away into mere shadows and only a kind of Union of the two will preserve an independent reality so he's not changing Einstein's theory he's just giving you a more elegant way of thinking about it one person who is not that impressed by this elegant way of thinking about it was Albert Einstein soon thereafter Einstein wrote a paper in which he complains about Minkowski's formulation saying that it makes rather great demands on the reader in its mathematical aspects so Einstein for all his Brilliance he was a physicist physicist at heart he was not really a mathematician he was able to do the math that was required but he didn't do math for the sake of doing math and he worried that Minkowski's space-time idea was just an example of mathematicians doing math for the sake of doing math that it didn't really add any physical Insight he later realized that was wrong and he would be very very uh accepting of the space-time idea so let's dig into this a little bit more if Minkowski is right and there's only one thing called space time why are we interested in unifying it I mean Isaac Newton could have talked about space-time right when you want to meet someone for coffee you have to tell them where you're going to meet them a location in space and when you're going to meet them a moment in time but you were never tempted to combine them together I mean Kelsey says there's a good reason why maybe you should and the reason is that time is kind of like space in a very down-to-earth way what I mean by that so let's say you travel along some distance right you go for a walk you have a pedometer that is keeping track of your steps you can figure out more or less the distance you travel or you can use an equation to figure out the distance you traveled if you have a coordinate system like maybe you have a grid on a street or something like that in a city so you have X and Y coordinates and you walk in a direction that is neither exactly long X or Y you can use these coordinates to build a right triangle right here's the amount you traveled in X here's the amount you traveled in y and then you know how to calculate the distance along that straight line connecting the two points it's Pythagoras's Theorem when you have a right triangle the distance of the hypotenuse the long side squared is the sum of the squares of the two shorter sides $D^2 = x^2 + y^2$ that's how distances work in space this is the heart of what we would call euclidean geometry the geometry you learn in school Minkowski says that time is like that but with a slightly different kind of geometry so you and I are used to thinking of time as something absolute and out there in the universe everyone agrees on it that's the way it would have been had Isaac Newton been right but Minkowski says there is coordinates like X where you are in space and there's a coordinate T the label that we put on different moments in the universe eight o'clock we will have dinner tonight

right at the restaurant that's a coordinate label that helps us find things in the universe but the time that we personally measure as we evolve through the universe is different from that and he proposes an equation for it if you call Tau this is the Greek letter Tau and this is supposed to be literally the amount of time that you would measure on your wristwatch or

.....

(03)- rychlost světla, i když se dva objekty nebo dva pozorovatelé pohybují vůči sobě navzájem, pokud kolem nich projde paprsek světla, změřili by paprsek světla, který jde stejnou rychlostí, je to trochu kontraintuitivní [a vrtá vám to hlavou] jako proč se rychlosti nesčítají normálním způsobem a to, co Einstein dokázal vysvětlit, je, že to všechno dává dokonalý smysl, **vše, co musíte udělat, je revidovat své intuitivní představy o prostoru a čase**, v pořádku a to vede ke všem zábavným aspektům speciální teorie relativity, jako je kontrakce délky, dilatace času, všechny ty věci to může být trochu matoucí, ale všechno to spolu velmi pěkně ladí a ve skutečnosti bych řekl, že poslední slovo ve speciální teorii relativity nedal ani Einstein v roce 1905. **Bylo uvedeno Hermanem Minkowskim v roce 1907**, minkowski, jak se ukázalo, byl jedním z Einsteinových profesorů na univerzitě, byl profesorem matematiky, na rozdíl od Einsteina, který je fyzikem, minkowski je více nakloněn matematice, než to byl minkowski, kdo si uvědomil, že může přijmout Einsteinovu teorii a říci, že správný způsob, jak o této teorii přemýšlet, je sjednocení prostoru a času do jediné věci zvané časoprostor a rozdíly mezi prostorem a časem vznikají, protože na Časoprostoru existuje nová geometrie, takže jeho slavný citát je, že od nynějška Space by sám i Čas jsou odsouzeny k tomu, aby zmizely v pouhých stínech a pouze jakési Sjednocení dvou zachová nezávislou realitu, takže nemění Einsteinovu teorii, jen vám dává elegantnější způsob uvažování o jedné osobě, která není na koho tento elegantní způsob uvažování zapůsobil Albert Einstein, brzy poté Einstein napsal článek, ve kterém si stěžuje na Minkowského formulaci, že klade na čtenáře poměrně velké nároky ve svých matematických aspektech, takže Einstein byl přes všechnu svou brilantnost fyzik v jádru fyzik, nebyl ve skutečnosti matematikem, dokázal udělat matematiku, která byla požadována, ale nedělal matematiku, protože dělal matematiku, a obával se, že Minkowského myšlenka časoprostoru je jen příkladem matematiků, kteří matematiku dělají kvůli matematice, která ve skutečnosti nepřidala žádný fyzický vhléd, si později uvědomil, že to bylo špatné, a velmi by přijal myšlenku časoprostoru, takže pojďme se do toho ponořit trochu víc, pokud má minkowski pravdu a existuje jen jedna věc se nazývá časoprostor, proč se zajímáme o jeho sjednocení Myslím tím Isaac Newton mohl mluvit o časoprostoru, právě když se chcete s někým setkat na kávě, musíte mu říct, kde se s ním setkáte, místo ve vesmíru a když se s nimi na chvíli setkáte, ale nikdy jste nebyli v pokušení je spojit dohromady, myslím tím Kelsey, že existuje dobrý důvod, proč byste možná měli, a důvodem je, že čas je něco jako prostor ve velmi dolů- k Zemi, co tím myslím, takže řekněme, že cestujete na určitou vzdálenost, hned se vydáte na procházku, **máte krokoměr, který sleduje vaše kroky, můžete více či méně zjistit vzdálenost, kterou urazíte**, nebo můžete použít rovnice k určení vzdálenosti, kterou jste urazili, **pokud máte souřadnicový systém, no jistě, ale kdo vám nařídil mít tři délkové dimenze (pro souřadnicový systém) a zakázal mít tři časové dimenze (pro souřadnicový systém) ????** http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_012.jpg ; http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_435.jpg ; http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_486.jpg ;

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/eng/eng_137.pdf ; http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/eng/eng_094.pdf ; jako třeba máte mřížku na ulici nebo něco podobného ve městě, takže máte souřadnice X a Y a jdete ve směru, který není přesně dlouhý X ani Y můžete pomocí těchto souřadnic sestavit pravoúhlý trojúhelník, zde je množství, které jste ujeli za X, zde je množství, které jste urazili za y, a pak víte, jak vypočítat vzdálenost podél této přímkou spojující dva body, je to Pythagorova věta, když máte pravoúhlý trojúhelník vzdálenost přepony dlouhá strana na druhou je součet druhých mocnin dvou kratších stran D na druhou je x na druhou plus y na druhou takto fungují vzdálenosti v prostoru toto je srdce toho, co bychom nazvali **euklidovská geometrie** geometrie, kterou vy Učte se ve škole **Minkowski říká, že čas je takový, ale s trochu jiným druhem geometrie, a já navíc říkám, že i čas má své dimenze a tvrdím, že (fyzikální) časoprostor je 3+3D, nikoliv 3+1D**, takže vy i já jsme zvyklí myslet na čas jako na něco absolutního a tam venku ve vesmíru se na tom **všichni ??? Opravdu všichni ? VŠICHNI minus já**, shodnou, takhle by to bylo, kdyby Isaac Newton měl pravdu, ale Minkowski říká, že tam jsou souřadnice jako X, kde jste ve vesmíru, a je tam souřadnice T šiték, který dáváme na různé okamžiky ve vesmíru, v osm hodin večer budeme mít večeri přímo v restauraci, což je šiték souřadnic, který pomáhá nám najít věci ve vesmíru, **ale čas, který osobně měříme, my neměříme „čas“, my měříme tempo plynutí času a to pomocí zvoleného intervalu na časové dimenzi (kterému říkáme pak časový etalon)** jak se vyvíjíme vesmírem, se od toho liší a on pro to navrhuje rovnici, pokud říkáte Tau, toto je řecké písmeno Tau a toto má být **doslova množství času**, které byste naměřili na svých náramkových hodinkách **když si ve vesmíru, napříč celým vesmírem >vyhlásíme stop-stav< a budeme ve vybraných lokalitách zjišťovat a) stáří vesmíru (v oné lokalitě) a tempo plynutí času v té lokalitě (např. v galaxii malé, pak velké, nebo u černé díry...), tak všude v daný „stop-stav“ naměříte svými náramkovými hodinkami něco jiného..., miliony lokalit a všude to bude „jiný čas, jiné tempo“ a...a pak si domyslete, že uděláte takový „stop-stav“ směrem do minulosti...kdykoliv a kdekoliv až dojdete k reliktnímu stáří nebo na horizont pozorovatelnosti a stále stejnými hodinkami naměříte „jiný čas“, všude, kdekoliv. – A to mi chcete říci, že takový vesmír nemůže a nemá 3 dimenze pro „ČAS“ ?? ale má od Minkowského čas „t“ který se mění v raketě podle STR na „tau“ a to podle „jakéhosi principu“ r e l a t i v i t y ??? ano?, ale nesmí mít 3 dimenze pro souřadnicový systém ??? nebo**

.....

(04)- some other device that you're carrying around with you and minkowski says that Tau does not equal this T this coordinate time that is floating in the background of your minds instead it's an equation that is much like Pythagoras's equation but with a minus sign so this is Tau squared is t squared minus x squared so what minkowski is saying is that if you don't really move in space that much and in fact what does it mean to move in space if you're moving close to the speed of light all of this matters if you're moving slowly compared to the speed of light it doesn't that's why no one noticed it before the 20th century but if you move rapidly in the space then the amount of time that you will experience is this background coordinate time squared minus the distance squared in space so moving in space always means that you experience less personal time this is what leads to for example the twin paradox in special relativity one twin stays behind and experiences some time another zooms off near the speed of light zooms back when the Twin that zoomed off comes back they are

younger than the twin that stayed behind because they have moved in space and the twin who stayed behind did not moving in space always means you experience less time and there's a formula for it just like Pythagoras okay that's minkowski's idea how to think about relativity and space time and it was going pretty well right I mean Einstein was doing very very well with his papers he became famous and so forth but there was a problem remember when Isaac Newton proposed his theory of classical Mechanics for Which special relativity is supposed to be a replacement the very first thing he did was explain how planets move around the Sun due to the force of gravity and how apples fall from trees so Einstein and other people for that matter they sat down and tried to ask how does gravity work in a way that is compatible with this new knowledge we have about relativity and the answer is that Newtonian gravity and relativity are simply incompatible one of them has to go and they just invented special relativity they were very proud of it so Einstein says can we come up with a new theory of gravity that is compatible with our new insights about special relativity and reproduces the successes of Newtonian gravity as long as we're moving very slow compared to the speed of light and it was very difficult to do but being Einstein he had a very smart idea and that smart idea goes back to this feature of gravity that Isaac Newton himself had commented on namely its universality right you drop two objects the rate at which they accelerate due to gravity doesn't depend on their mass and Einstein was thinking about he says in fact it doesn't depend on anything there's really no way of knowing how much gravity you are feeling because look maybe you're sealed in a room so you can't see the outside world and you think that there's gravity beneath you because you drop things and they fall okay and maybe you're right but if you were in a rocket ship that is accelerating and it's very very quiet so you can't hear the engine it's accelerating at 1G the acceleration due to gravity if you let two objects go a hammer and a feather they will also appear to fall to the bottom of the spaceship and Einstein's idea is to extend the universality of the rate of things falling to a principle the principle of equivalence he says that motion in an accelerated frame of reference like an accelerating rocket is indistinguishable from sitting on the surface of a planet in a gravitational field and again you and I would think of that if we did think of it and go huh that's a cute little insight I'm very proud of myself and then we'd go on and do something else but Einstein being Einstein he took it much further than that he says how can it be that gravity is in some sense undetectable other forces are detectable like we said a positive and negative charge would easily detect the existence of an electric field or a magnetic field so Einstein says it must be the case that gravity is not a conventional Force living within the space-time the reason why it's Universal he says is because gravity is a feature of space-time itself what feature could it be well his former professor minkowski says that space-time has a geometry maybe what we think of as gravity is a feature of the geometry of space-time the curvature in particular in some very real sense even though minkowski modified Pythagoras's Theorem the geometry of minkowski's space-time is still flat there's no curvature to it Einstein said maybe the real world has curvature and you and I experience that as gravity so what he needs is to understand the mathematical tools necessary for describing the curvature of space-time

.....

(04)- nějaké jiné zařízení, které nosíte s sebou, atomové hodinky... a Minkowski říká, že τ se tomuto nerovná T tento souřadnicový čas, který se vznáší v pozadí vašich myslí, místo toho je to rovnice, která je hodně podobná Pythagorově rovnici, ale se znaménkem mínus, takže toto je τ^2 na druhou je t^2 na druhou mínus x^2 na druhou, takže minkowski říká, že

pokud se ve skutečnosti tolik nepohybujete v prostoru, a co to vlastně znamená pohybovat se v prostoru, když se pohybujete blízko rychlosti světla na tom všem záleží, pokud se pohybujete pomalu ve srovnání s rychlostí světla, není to tak, proto si toho nikdo nevšiml před 20. stoletím, ale pokud se pohybujete rychle v prostoru, pak množství času, které zažijete je tato souřadnice pozadí na druhou mocninu času mínus vzdálenost na druhou v prostoru, takže pohyb v prostoru vždy znamená, že zažíváte méně osobního času, a to je ta blbost, která tu panuje stále, už 100 let, od doby kdy jí Einstein vynalezl. On vynalezl STR dobře, ale my, potomci, jí si vykládáme a chápeme chybně! Čas (tempo času) se nemění nám, tady, ani v raketě, (ve stap-stavu), ale z důvodů pootáčení soustav (naší soustavy a soustavy rakety) P O Z O R U J E M E jiné intervaly času z rakety (které k nám z rakety dorazily „poslem“) a tyto pootočené intervaly = prodloužené intervaly času, pak pokládáme za změnu tempa plynutí času na raketě...; bohužel za 100 let fyzikové „úmyslně“ nepochopili, že soustava rakety se pootáčí a my na své pozorovací plátno snímáme z té rakety jiné intervaly než jaké jsou „na ní“... což vede například k paradoxu dvojčat ve speciální relativitě, ☹ právě jsem to popsal jedno dvojče zůstane pozadu a zažije nějakou dobu, kdy se druhé přiblíží blízko rychlosti světla se přiblíží, když se dvojče, které se přiblížilo, vrátí, jsou mladší než dvojče, které zůstalo vzadu, **Není to pravda**, protože se pohybovalo v prostoru a dvojče, které zůstalo vzadu, se nepohybovalo v prostoru vždy znamená, že zažijete méně času a **existuje vzorec pro je to stejně jako Pythagoras**, ano, to je Minkowského nápad, **tak to slyším poprvé, že „pootáčení soustav dle Pythagora“ vymyslel Minkowski** jak uvažovat o relativitě a časoprostoru a šlo to docela dobře, myslím tím, že Einsteinovi se dařilo velmi dobře se svými papíry, stal se slavným a tak dále, ale vyskytl se problém, pamatujte si, **když to Isaac Newton navrhl jeho teorie klasické mechaniky, pro kterou má být speciální teorie relativity náhradou, úplně první věc, kterou udělal, bylo vysvětlit, jak se planety pohybují kolem Slunce vlivem gravitační síly a jak jablka padají ze stromů**, takže Einstein a další lidé, posadil se a pokusil se zeptat, jak funguje gravitace způsobem, který je kompatibilní s těmito novými poznatky, které máme o **relativitě**, a odpověď zní, *že newtonovská gravitace a teorie relativity jsou prostě neslučitelné*, jeden z nich musí pryč a právě vynalezli speciální relativitu. Jsme na to velmi hrdí, takže Einstein říká, že můžeme přijít s novou teorií gravitace, která je kompatibilní s našimi novými poznatky o speciální relativitě a reprodukuje úspěchy newtonovské gravitace, pokud se pohybujeme velmi pomalu ve srovnání s rychlostí světla a bylo to velmi obtížné, ale jako Einstein měl velmi chytrý nápad a tento chytrý nápad sahá až k této vlastnosti gravitace, kterou komentoval sám Isaac Newton, totiž její univerzálnosti, když pustíte dva objekty rychlostí, jakou se vlivem gravitace zrychlují. nezávisí na jejich hmotnosti a Einstein o tom přemýšlel, říká ve skutečnosti to nezávisí na ničem, opravdu neexistuje způsob, jak zjistit, jak velkou gravitaci cítíte, protože koukejte, možná **jsste uzavřeni v místnosti, takže nemůžete vidět vnější svět a myslíš si, že je pod tebou gravitace**, protože věci upustíš a ony padnou v pořádku a možná máš pravdu, ale kdybys byl v raketové lodi, která zrychluje a je velmi tichá, takže neslyšíš motor zrychluje se na 1G zrychlení způsobené gravitací, pokud necháte dva předměty jít kladivem a perem, budou také vypadat, jako by spadly na dno vesmírné lodi a Einsteinova myšlenka je rozšířit univerzálnost rychlosti pádu věcí na princip **princip ekvivalence** říká, že pohyb ve zrychlené vztažné soustavě jako urychlující raketa je k nerozeznání od sezení na povrchu planety v gravitačním poli a znovu bychom si to vy a já mysleli, kdybychom na to mysleli a šli, no to je roztomilý malý poznatek Jsem na sebe velmi hrdý a pak bychom pokračovali a dělali něco jiného, ale Einstein jako Einstein to dotáhl mnohem dál, než že říká, jak je možné, že gravitace je v určitém smyslu nedetekovatelná, jiné

síly jsou zjistitelné jak jsme řekli, kladný a záporný náboj by snadno detekoval existenci elektrického pole nebo magnetického pole, takže Einstein říká, že to musí být tak, že gravitace není konvenční Síla žijící v časoprostoru, důvod, proč je univerzální, jak říká, je protože gravitace je rysem samotného časoprostoru, jeho bývalý profesor Minkowski říká, že časoprostor má geometrii, možná to, co si představujeme jako gravitaci, je rysem geometrie časoprostoru, konkrétně zakřivení v nějaký velmi skutečný smysl, i když minkowski upravil Pythagorovu větu, geometrie minkowského časoprostoru je stále plochá, není v něm žádné zakřivení ?? Einstein řekl, že možná skutečný svět má zakřivení a vy a já to zažíváme jako gravitaci, takže to, co potřebujeme, je pochopit matematické nástroje nezbytné pro popis zakřivení časoprostoru

.....

(05)- Einstein in 1910 or whatever had no idea about the mathematical tools but they had been developed in the 1850s relatively not long before happily once again Einstein was very good friends with a mathematician friend Marshall Grossman one of his old school buddies and Grossman had become an expert mathematician in the years since so Einstein went to Grossman and said can you please teach me about the curvature and the geometry of arbitrary kinds of spaces and he said yes and general relativists to this day are very thankful to Marshall Grossman for doing this without Grossman Einstein maybe never would have invented general relativity so basically the reason I'm telling you the story is even Einstein needed to get tutoring in order to learn the mathematics necessary to understand his own ideas this is an inspirational motivational story for young prospective physicists out there or maybe even other people okay so what is the answer what is what does Grossman have to teach Einstein about well it was in the 19th century that scientists and mathematicians I should say first really started thinking about what we call non-euclidean geometry euclidean geometry as we said is high school geometry it's tabletop geometry you draw a triangle the angles inside add up to 180 degrees that is a feature of euclidean geometry the area of a circle is πr^2 and if you go back into the history what Euclid actually did was to axiomatize Geometry he derived a bunch of results many of which had already been known but he derived them starting from a set of axioms and the axioms are all pretty trivial and obvious and standard except one always stood out the so-called parallel postulate the idea that if you start with a little line segment and you shoot out two lines at right angles so they're initially parallel with each other Euclid hypothesizes he makes an axiom or a postulate that says they will always be exactly parallel they will always maintain a constant distance from one another for a long time mathematicians thought that you know this sounded correct but it seems like a little bit specific it sounds like it should be a theorem not an axiom and so they really tried to prove it and they were never able to do so in the 1930s they finally learned why they had not been able to prove it because it might not be true you can replace the parallel postulate by an alternative you can say well maybe these these initially parallel lines that shoot out from your line segment will diverge we'll get further away or maybe they will converge they will get closer and these alternative axioms are just as good you can build geometric systems on the basis of them you can have a positively curved geometry like a sphere or you could have a negatively curved geometry like the surface of a saddle or a potato chip all of these are possibilities and so mathematicians thought this was great full employment for mathematicians they love it but in fact this was just the beginning because these geometries are very very simple if you think about the geometry of a sphere it's curved it's not flat but it's simple because it's exactly the same everywhere no matter where you are on the sphere no matter what direction you go in

the kind of curvature the kind of geometry you're experiencing is exactly the same so what we needed was a more powerful set of tools to think about lumpy surfaces right surfaces or even higher dimensional objects three-dimensional spaces four-dimensional spaces like mathematicians don't care how many dimensions space has in the real world they're going to invent whatever they're going to invent so this task fell to Bernard Riemann in the 1850s who was a student under Carl Friedrich Gauss one of the greatest mathematicians of all time and Riemann needed to pass yet another exam in the German system to get a license to teach in universities and he presented Gauss his advisor with a list of possible exam topics and Gauss chose the one that Riemann thought was the most boring the foundations of geometry and you read Riemann's paper and you know just like Einstein was fetching about Minkowski Riemann is complaining that yeah he's not really very good at this it's not really his thing he did it very very well so the challenge posed Riemann is how do you talk about the geometry of a space if you're inside that space you're not allowed to think about standing outside and looking at it okay you have to say just from intrinsic information from experiments I can do if I live inside some curved space how could I convey say to you the information about what that curvature is and Riemann's genius was he said let's focus in on a simple quantity the length of a curve in fact the length of every possible curve it might make sense to you if I say if you know the

.....

(05)- Einstein v roce 1910 nebo cokoli jiného nemělo o matematických nástrojích ponětí, ale byly vyvinuty v 50. letech 19. století relativně nedlouho předtím, než se naštěstí Einstein opět velmi přátelil s přítelem matematikem **Marshalllem Grossmanem**, jedním z jeho kamarádů ze staré školy a Grossmanem se stal expertním matematikem v letech, kdy Einstein šel za Grossmanem a řekl, můžete mě prosím poučit o zakřivení a geometrii libovolných druhů prostorů a on řekl ano a obecní relativisté jsou dodnes Marshallu Grossmanovi za to velmi vděční bez Grossmana Einsteina by to možná nikdy nevyalezlo obecnou relativitu, takže v podstatě důvod, proč vám tento příběh vyprávím, je, že **Einstein dokonce potřeboval doučování, aby se naučil matematiku potřebnou k pochopení svých vlastních myšlenek**, toto je inspirativní motivační příběh pro mladé potenciální fyziky tam venku nebo možná i jiní lidé jsou v pořádku, takže jaká je odpověď, co je to, o čem musí Grossman učit Einsteina dobře, bylo to v 19. století, kdy vědci a matematici, řekl bych, začali nejprve skutečně přemýšlet o tom, čemu říkáme neeuklidovská geometrie, euklidovská geometrie, jak jsme řekli, je geometrie na střední škole, je to stolní geometrie, nakreslíte trojúhelník, úhly uvnitř se sčítají až o 180 stupňů, což je vlastnost euklidovské geometrie, plocha kruhu je πr^2 na druhou a pokud se vrátíte do historie, co Euklides vlastně axiomatizoval geometrii, odvodil spoustu výsledků, z nichž mnohé již byly známé, ale odvodil je počínaje sadou axiomů a všechny axiomy jsou docela triviální a zřejmé a standardní, kromě jednoho vždy vyčníval z takzvané paralely. Postulujte myšlenku, že když začnete s malým segmentem čáry a vystřelíte dvě čáry v pravých úhlech, takže budou zpočátku vzájemně rovnoběžné, Euklides předpokládá, že vytvoří axiom nebo postulát, který říká, že budou vždy přesně rovnoběžné, vždy budou udržovat konstantní vzdálenost jeden od druhého po dlouhou dobu, matematici si mysleli, že víte, že to zní správně, ale zdá se to být trochu specifické, zní to, jako by to měla být věta, ne axiom, a tak se to opravdu snažili dokázat a nikdy nebyli když to dokázali ve 30. letech 20. století, konečně zjistili, proč to nemohli dokázat, protože to nemusí být pravda, můžete paralelní postulát nahradit alternativou, můžete dobře říci, možná tyto původně paralelní linie, které vyběhají z vaší linie segment se bude rozcházet dostaneme se dále nebo možná se budou

sblížit budou se přibližovat a tyto alternativní axiomy jsou stejně dobré, můžete na nich stavět geometrické systémy, můžete mít pozitivně zakřivenou geometrii jako kouli nebo můžete mít negativně zakřivenou geometrii, jako je povrch sedla nebo bramborové lupínky, to vše jsou možnosti, a tak si matematici mysleli, že je to skvělé plné využití pro matematiky, které to milují, ale ve skutečnosti to byl jen začátek, protože tyto geometrie jsou velmi jednoduché, pokud přemýšlejte o geometrii koule, je zakřivená, není plochá, ale je to jednoduché, protože je všude přesně stejná, bez ohledu na to, kde se na kouli nacházíte, bez ohledu na to, jakým směrem se vydáte v druhu zakřivení, druh geometrie, kterou zažíváte, je přesně totéž, takže to, co jsme potřebovali, byla výkonnější sada nástrojů k přemýšlení o hrudkovitých plochách, pravých plochách nebo dokonce objektech s vyšší dimenzí trojrozměrné prostory čtyřrozměrné prostory, jako jsou matematici se nestarají o to, kolik rozměrů má prostor v reálném světě, že vymyslí, co vymyslí, takže tento úkol připadl v 50. letech 19. století **Bernardu Riemannovi**, který byl studentem **Carla Friedricha Gausse**, jednoho z největších matematiků všech dob, a Riemann potřeboval složit další zkoušku z německého systému, aby získal licenci k výuce na univerzitách a předložil Gaussovi svému poradci seznam možných témat zkoušek a Gauss vybral to, o kterém si Riemann myslel, že je nejnudnější ze základů geometrie, a vy si přečtete Riemannovu práci a víte stejně jako Einstein minkowski Riemann si stěžuje, že ano, v tomhle opravdu není moc dobrý, ve skutečnosti to není jeho věc, udělal to velmi dobře, takže Riemann představuje výzvu, jak mluvit o geometrii prostoru, když jste uvnitř tohoto prostoru není dovoleno myslet na to, že stojíte venku a díváte se na to dobře, musíte říct jen z vnitřních informací z experimentů, které mohou udělat, když žijí v nějakém zakřiveném prostoru, jak bych vám mohl sdělit informace o tom, co je to zakřivení a jaký byl Riemannův **génus řekl**, pojďme se zaměřit na jednoduchou veličinu délka křivky ve skutečnosti délka každé možné křivky, která by vám mohla dávat smysl, když řeknu, jestli znáte

.....

(06)- geometry of a space then there's a way to calculate the length of every curve within that space riemann's brilliant idea was to go the other way around if you know the length of every possible curve within a space you know everything there is to know about the geometry that sounds like a challenge like how could you list the length of every possible curve there's an infinite number of Curves but Riemann happily knew a little trick called calculus which was invented by Isaac Newton and leibniz and other people the trick of calculus is you can zoom in on a curvy line and that curvy line will look straight so in fact even if you have an arbitrary curve in some arbitrary space you don't have to give me the length of every curve in its entirety you just need to zoom in and say for a little tiny segment of that curve along which it looks pretty straight how do I calculate the length of that little tiny segment if we're in flat space if we're in a euclidean geometry you know the answer to that it's Pythagoras's Theorem right $D^2 = x^2 + y^2 + z^2$ here would be $x^2 + y^2 + z^2$ but Riemann says I want to be in an arbitrary kind of space I want to be on a sphere on a saddle or on a five-dimensional loop-de-loop kind of thing I want to generalize once again this idea of calculating the distance using Pythagoras's Theorem so we already know two examples right here is the distance formula in euclidean space it's just Pythagoras but in three dimensions here is the distance formula in minkowski space time it looks kind of like Pythagoras but there's some minus signs what Riemann realized is that the most General wacky arbitrary thing has this pattern of you see it's $t^2 - x^2 - y^2 - z^2$ you take a coordinate and you square it but you could also take one coordinate and multiply it by another one right $T \times$

X or t times Y in an arbitrary geometry that could contribute to the length of a curve so the pattern that he suggested is you calculate the square of the interval D Squared or Tau squared or Whatever It Is by saying there's one coordinate times another coordinate times a number and I sum that up with possibly different numbers for every possible coordinate so here is 1 times x squared plus 0 times x y plus 0 times x z plus 1 times y squared Etc and likewise for minkowski space time so in general and this is where it gets a little bit hairy but hang in there will all come together pretty soon in general you'll have an ugly looking formula like this okay interval squared whether I'm writing interval because maybe it's space maybe it's time who knows some number times t squared in space time some number times T times x some number times T times y Etc and in fact these numbers capital A B C D and so on might be different from point to point that would be reflecting the fact that we could have a geometry a space geometry could be changing and shifting maybe it's flat in some regions curved in other regions okay so what Riemann is saying is if you want to tell me the complete 100 faithful geometry of some four-dimensional space you have to give me these numbers as a function of where you are a b c d 16 numbers in all if you're in four-dimensional space because there's four coordinates and they're all the coordinates squared so 4 times 4 is 16 okay if you're only in three dimensions it would be three times three is nine and so forth you can get you can see why this is a little bit intimidating I mean there's a lot going on here there's a lot of numbers a lot of things and so what mathematicians always do in this case is they invent a nice notation that makes things look more compact than they really are so let's indulge ourselves and and think about this nice notation that they invent they're gonna be interested in cases where sometimes it's space sometimes it's space time sometimes it's a 10-dimensional space-time right in string theory the modern theory of quantum gravity they think that space time really is 10 dimensional so rather than just listing x y z or txyz or whatever let's write X_μ where μ is a Greek letter that is an index μ goes over 0 1 2 3 such that x_0 is T X_1 is X X_2 is y X_3 is z so these are not exponents this is not x squared x cubed this is $X_0 \times 1 \times 2 \times 3$ just numerical values telling us which coordinate we're looking at and you could keep going Y is T the zeroth coordinate well maybe you have more dimensions of space but you never have more dimensions of time so it's safer to label t as the zeroth coordinate and then you have these multiplications of all the different coordinates with all these coefficients a b c d so whenever the rules is whenever you multiply X_μ times x_ν one of these coordinates times another

.....

(06)- geometrie prostoru, pak existuje způsob, jak vypočítat délku každé křivky v tomto prostoru. Riemannovým skvělým nápadem bylo jít opačným směrem, pokud znáte délku každé možné křivky v prostoru, víte všechno vědět o geometrii, která zní jako výzva, jako jak byste mohli uvést délku každé možné křivky, existuje nekonečný počet křivek, ale Riemann šťastně znal malý trik zvaný kalkul, který vynalezli Isaac Newton a Leibniz a další lidé trik kalkulu můžete přiblížit křivku a ta křivka bude vypadat rovně, takže ve skutečnosti, i když máte libovolnou křivku v nějakém libovolném prostoru, nemusíte mi udávat délku každé křivky jako celku, stačí přiblížit se a řekněte o malém malém segmentu této křivky, podél které vypadá docela rovně, jak vypočítám délku toho malého malého segmentu, pokud jsme v plochém prostoru, pokud jsme v euklidovské geometrii, znáte na to odpověď je to Pythagorova věta správně D Na druhou by zde bylo x na druhou plus y na druhou plus Z na druhou, ale Riemann říká, že chci být v libovolném druhu prostoru Chci být na kouli na sedle nebo na pětirozměrné smyčce-de- smyčka druh věci Chci ještě jednou zobecnit tuto myšlenku výpočtu vzdálenosti pomocí Pythagorovy věty, takže už známe dva příklady, tady je vzorec

vzdálenosti v euklidovském prostoru, je to jen Pythagoras, ale ve třech rozměrech je zde vzorec vzdálenosti v Minkowského časoprostoru vypadá to trochu jako Pythagoras, ale jsou tu nějaká minusová znaménka, co si Riemann uvědomil, je, že nejobecnější šílená libovolná věc má tento vzor vidíte, je to t na druhou x na druhou y na druhou z na druhou vezmete souřadnici a odmocníte ji, ale můžete také vzít jedna souřadnice a vynásobíte ji druhou jednou vpravo T krát X nebo t krát Y v libovolné geometrii, která by mohla přispět k délce křivky, takže vzor, který navrhl, je, že vypočítáte druhou mocninu intervalu D na druhou nebo Tau na druhou nebo cokoli Je to tím, že říkám, že existuje jedna souřadnice krát druhá souřadnice krát číslo a shrnu to s možná různými čísly pro každou možnou souřadnici, takže zde je 1 krát x na druhou plus 0 krát x y plus 0 krát x z plus 1 krát y na druhou atd. a podobně pro Minkowski časoprostoru tak obecně a tady se to trochu chlupatí, ale vydržte, všechno se to brzy sejde obecně, budete mít ošklivě vypadající vzorec, jako je tento, dobrý interval na druhou, ať už píšu interval, protože možná je to prostor možná je čas, kdo zná nějaké číslo krát t na druhou v časoprostoru nějaké číslo krát T krát x nějaké číslo krát T krát y atd. a ve skutečnosti se tato čísla velká **A B C D** a tak dále mohou lišit bod od bodu, což by odráželo skutečnost že bychom mohli mít geometrii, geometrie prostoru by se mohla měnit a posouvat, možná je plochá v některých oblastech zakřivená v jiných oblastech, takže Riemann říká, že pokud mi chcete říct kompletní 100 věrnou geometrii nějakého čtyřrozměrného prostoru, který máte abys mi dal tato čísla jako funkci toho, kde jsi, **a b c d** Celkem 16 čísel, pokud jsi ve čtyřrozměrném prostoru, protože tam jsou čtyři souřadnice a všechny jsou souřadnice na druhou, takže 4 krát 4 je 16 v pořádku, pokud jsi pouze ve třech dimenzích by to bylo třikrát tři je devět a tak dále, můžete pochopit, proč je to trochu zstrašující Chci říct, že se toho tady hodně děje, je tu hodně čísel, hodně věcí a tak to, co matematici vždy dělají v tomto případě vymysleli pěknou notaci, díky které věci vypadají kompaktněji, než ve skutečnosti jsou, takže si dopřejme a přemýšlejme o této pěkné notaci, kterou vymysleli, budou se zajímat o případy, kdy je to někdy prostor, jindy prostorčas, někdy je to 10-dimenzionální časoprostor přímo v teorii strun, moderní teorii kvantové gravitace, myslí si, že časoprostor je opravdu 10-rozměrný, takže místo toho, aby jen vypisovali **x y z** nebo **txyz** nebo cokoli, napišme X^μ , kde μ je řecké písmeno, které je index μ jde přes **0 1 2 3** tak, že x_0 je T X_1 je X X_2 je y X_3 je z takže to nejsou exponenty toto není x na druhou x krychle toto je $X^0 x^1 x^2 x^3$ jen číselné hodnoty, které nám říkají, které souřadnice, na kterou se díváme, a mohli byste pokračovat Y je T nulová souřadnice dobře, možná máte více rozměrů prostoru, ale nikdy nemáte více rozměrů času, takže je bezpečnější označit t jako nulovou souřadnici a pak máte tyto násobení všechny různé souřadnice se všemi těmito koeficienty $a b c d$, takže kdykoli platí pravidla, kdykoli vynásobíte X^μ krát x^ν jednu z těchto souřadnic krát druhou

.....

(07)- coordinate you label the coefficient as G^μ_ν so G^μ_ν even though it's just three little letters is actually a four by four array of quantities there's G^0_0 g^0_1 Etc g^0_0 multiplies t^2 g^0_1 multiplies T times x and so forth so you're replacing this somewhat ugly looking formula with this I would argue prettier looking formula why is it prettier because it's perfectly General it extends to any number of Dimensions any coordinates you have maybe you're in elliptical coordinates or polar coordinates or whatever you can still use this formula okay so that's now we can catch our breath we sort of did a little homework we're proud of ourselves what do we have going on we have Bernard Riemann telling us that if you want to describe the mathematical geometry of an arbitrary curved space the way that you describe it

is you give me these components of what we call the metric tensor this 4x4 array of numbers g_{00} g_{01} g_{02} you give them to me at every point in space that tells me the geometry so we can see this at work right here's Minkowski space uh the metric is what we call a tensor so it's not just a number it's not just a vector it's something with two indices which we can write as a little Matrix okay g_{tt} G_{TX} Etc we've already written that the interval the time interval in Minkowski space time is $t^2 - x^2 - y^2 - z^2$ to turn that into an expression for the metric we say well what is the what is the coefficient of t^2 squared that's g_{tt} and that's plus one coefficient of x^2 squared is g_{xx} is minus one likewise for y^2 squared z^2 squared and then in this formula there is no appearance of T times x so g_{tx} is zero and all these other ones are also zero this seems like Overkill I mean this this equation was simple enough why are we working so hard the reason is because in a more complicated space time in the Big Bang or black holes or gravitational waves we're going to use all of the power of the metric tensor in fact we can sort of interpret what the metric is trying to tell us this spatial part so g_{xy} g_{yz} Etc this is just a souped-up version of Pythagoras's theorem in space okay for a sphere or a pringle or whatever you want that's where that information is contained the g_{00} component the g_{tt} component what is that telling you it's telling you how much time you measure in terms of the time coordinate that is telling you where you are in the universe so in a very real sense it's telling you the rate at which time flows with respect to that background coordinate so you see that it's not just some abstract thing it has a real tangible physical expression for people living in this kind of space time and then you have these weird things that sort of mix time into space G_{TX} g_{ty} g_{tz} Etc and you might say that's crazy I've never experienced time mixing into space but you have if you've seen the movie Interstellar so this famous image is an artist's impression a simulation of light rays around a spinning black hole this was created for the movie Interstellar directed by Christopher Nolan but first the idea was first from Kip Thorne who's a Nobel prize-winning physicist at Caltech and Linda Oaks who's a Hollywood producer and so Kip Thorne who's the world's expert in general relativity worked very closely with the special effects team in Interstellar to make sure that this is really what a spinning black hole will look like and they even wrote a paper that appeared in a referee Journal classical and quantum gravity and it's written by Kip Thorne but also these folks who work for the special effects company in London so this is a California London collaboration and it's a wonderful thing because the twisting of space into time is a crucially important feature when you have spinning black holes that's exactly what spinning black holes do they Bend space and time together so those parts of the metric tensor turn out to be really important and that was necessary for creating this image okay so it's all going to be necessary how we're going to make use of it the metric is telling us the distance along curves and Riemann's insight was that in principle that's all you need to know from knowing the distances along curves you can figure out everything you want to know still that might be work you still have to do the work of taking the metric and turning it into what you want to know so what Einstein proposed was that gravity reflects the curvature of space-time so what you really want to do is use the metric to discuss the curvature of space-time how do you do that well remember Pythagoras sorry Euclid's parallel postulate says I shoot off two initially parallel lines and they stay parallel the invention of non-Euclidean geometry suggested maybe they don't and it said either they converge or diverge but in this much more General context not only can they converge or diverge but maybe if they're initially pointed in One Direction

.....

(07)- souřadnice, kterou označíte koeficientem jako $G_{\mu\nu}$, takže $G_{\mu\nu}$, i když jsou to jen tři malá písmena, je ve skutečnosti pole čtyř krát čtyři množství, kde je $G_{00} = g_{00}$, $G_{01} = g_{01}$, $G_{02} = g_{02}$ atd. G_{00} násobí t na druhou, G_{01} násobí T krát x a tak dále, takže nahrazujete tento poněkud ošklivě vypadající vzorec tímto, řekl bych, že hezčí vzorec, proč je hezčí, protože je dokonale obecný, vztahuje se na libovolný počet dimenzí jakékoli souřadnice, které máte, možná jste v eliptických nebo polárních souřadnicích nebo cokoli, stále můžete použít tento vzorec dobře, takže teď můžeme popadnout dech udělali jsme malý domácí úkol jsme na sebe hrdí, co se děje, máme Bernarda Riemanna, který nám říká, že pokud chcete popsat matematický geometrie libovolně zakřiveného prostoru tak, jak to popisujete, dáte mi tyto součásti toho, čemu říkáme metrický tenzor, toto pole čísel 4×4 g_{00} g_{01} g_{02} dáváte mi je v každém bodě prostoru, který mi říká geometrii, takže můžete to vidět při práci přímo tady je Minkowski prostor uH metrika je to, čemu říkáme tenzor, takže to není jen číslo, není to jen vektor, je to něco se dvěma indexy, které můžeme napsat jako malý Matrix v pořádku g_{tt} G_{TX} atd. napsáno, že interval časový interval v Minkowského časoprostoru je t na druhou minus x na druhou minus y na druhou minus Z na druhou, abychom to převedli na výraz pro metriku, řekneme dobře, co je to, jaký je koeficient t na druhou to je g_{tt} a to je plus jeden koeficient x na druhou je g_{xx} je minus jedna podobně pro y na druhou Z na druhou a pak se v tomto vzorci neobjeví T krát x , takže g_{tx} je nula a všechny tyto ostatní jsou také nulové, vypadá to jako Overkill Myslím tím tuto rovnici bylo dost jednoduché, proč pracujeme tak tvrdě, důvodem je to, že v komplikovanějším časoprostoru ve Velkém třesku nebo černých dírách nebo gravitačních vlnách využijeme veškerou sílu metrického tenzoru, ve skutečnosti to můžeme nějak interpretovat co se nám metrika snaží sdělit tato prostorová část, takže g_{xy} Z atd. toto je jen vylepšená verze Pythagorovy věty ve vesmíru, v pořádku pro kouli nebo prangle nebo cokoli chcete, tam je tato informace obsažena složka g_{00} g_{tt} složka co je to, že vám to říká, že vám to říká, kolik času měříte z hlediska časové souřadnice, která vám říká, kde se ve vesmíru nacházíte, takže ve velmi reálném smyslu vám to říká rychlost, jakou čas plyne vzhledem k tomuto pozadí koordinujte, abyste viděli, že to není jen nějaká abstraktní věc, ale má skutečný hmatatelný fyzický výraz pro lidi žijící v tomto druhu časoprostoru, a pak máte tyto podivné věci, které jakoby mísí čas do prostoru G_{TX} g_{ty} g_{tz} atd. a můžete říci, že je to šílené Nikdy jsem nezažil mísení času do vesmíru, ale máte, pokud jste viděli film Interstellar, tak tento slavný obrázek je umělcova impresie simulace světelných paprsků kolem rotující černé díry to bylo vytvořeno pro film Interstellar v režii Christophera Nolana ale první nápad byl nejprve od Kipa Thorna, který je nositelem Nobelovy ceny za fyziku na Caltech, a Lindy Oaks, která je hollywoodskou producentkou, a tak Kip Thorne, který je světovým expertem na obecnou relativitu, velmi úzce spolupracoval s týmem speciálních efektů v mezihvězdném prostředí, aby zajistil, že takhle opravdu bude vypadat rotující černá díra a dokonce napsali článek, který se objevil v odborném časopise o klasické a kvantové gravitaci a napsal ho Kip Thorne, ale také tito lidé, kteří pracují pro společnost se speciálními efekty v Londýně, takže tohle je Spolupráce s Kalifornií a Londýnem je úžasná věc, protože kroucení prostoru do času je velmi důležitým rysem, když rotujete černé díry, přesně to dělají rotující černé díry ohýbají prostor a čas dohromady, takže se tyto části metrického tenzoru ukáží jako opravdu důležité a to bylo nutné pro vytvoření tohoto obrázku, dobře, takže to všechno bude nutné, jak to využijeme metrika nám říká vzdálenost podél křivek a Riemannův náhled byl, že v zásadě je to vše, co potřebujete vědět ze znalosti vzdáleností podél křivek můžete zjistit vše, co chcete vědět, stále to může být práce, stále musíte udělat práci s tím, že vezmete metriku a převedete ji na to, co chcete vědět, takže Einstein navrhl, že gravitace odráží zakřivení časoprostoru, takže to, co opravdu chcete udělat, je použít metriku k diskusi o zakřivení

časoprostoru, jak to děláte, dobře si pamatujte Pythagora, promiňte, Euklidův paralelní postulát říká, že vystřelím dvě původně rovnoběžné čáry a ty zůstanou rovnoběžné vynález neeuklidovská geometrie naznačovala, že možná ne, a říkala, že buď konvergují, nebo divergují, ale v tomto mnohem obecnějším kontextu nejenže mohou konvergovat nebo divergovat, ale možná, pokud jsou zpočátku zaměřeny v jeden směr

.....

(08)- they will converge and in another Direction they will diverge maybe they will converge or diverge at different rates or at different points in space and maybe they won't only converge or diverge but they might twist around each other as they go all of these things are possible so we invent what is now called the Riemann curvature tensor it is labeled $R_{\lambda\mu\nu\sigma}$ or some set of Greek indices the important thing is there are four indices so it's kind of like the metric which had two indices $G_{\mu\nu}$ the Riemann tensor just carries a lot of information it's asking it's answering rather a very complicated question you give me a point in space an initial line segment and a direction in which you're shooting out parallel lines you feed that into the Riemann tensor and it tells you how they converge or diverge or twist around each other a tremendous amount of information so you need not a four by four array of numbers you have four indices on the Riemann tensor so it is a four by four by four by four array of numbers so just to drive that home a vector in space time just like a vector in space has three components a vector in space time has four here's the momentum Vector there's a momentum in the time Direction the X Direction the y direction the Z Direction a little column of four numbers not that hard metric tensor which we just showed you a 4x4 array of numbers you thought that was hard two slides ago now you think it's easy because now we're faced with the Riemann tensor which you can think of as a four by four array of four by four matrices now this is only put up here to intimidate you this is not actually very useful right there's so many components here clearly you're either going to have some simplifications or some relationships between them or you just have a computer do the work and in the real world of modern physics all of those things are true you either look at very simple metrics where you can calculate the Riemann tensor and it's not that hard or you just let a computer do it for you I was basically a member of the last generation of graduate students would have to calculate these things by hand these days it's all done by computers but that's where we are we have invented or we've been told we've been taught by Marshall Grossman what are the mathematical tools that we use for describing the curvature of space-time the metric tells us what the geometry is from the metric we can calculate the Riemann tensor which tells me how much curvature there is at every point and now Einstein needs to put this to work to create an equation for Gravity okay so we go back to Newton's equation for gravity and we say how are we going to come up with an alternative so Newton's equation involves the acceleration remember we canceled out the little mass of the object being pushed around the acceleration is proportional to the mass of the thing pulling us and inversely proportional to the distance so conceptually the acceleration is going to be replaced by some measure of space-time curvature and the mass that is doing the gravity well we already know that mass has a slightly different status in relativity because we know $E = mc^2$ right the way to think about that formula is that mass is just one kind of energy there's lots of different kinds of energy there's kinetic energy potential energy things like that mass is one kind of energy they're unified together in fact they're unified more deeply than that energy itself in relativity gets unified with momentum and other kinds of energy and momentum kinds of things heat and pressure and all that stuff okay so skipping some steps guess what the replacement for the

number mass in Newtonian mechanics is going to be a tensor in relativity it has the name the energy momentum tensor or sometimes called the stress energy tensor it is written $T_{\mu\nu}$ and it has components just like the metric does and once again these components have different physical meanings so the T_{00} component or the zero zero component of the energy momentum tensor is the energy and that includes the mass so if you just have an object like the Sun or the Earth moving slowly compared to the speed of light then this component of the energy momentum tensor is doing all the work this one will be big all the other entries will be very small and you can ignore it but you have situations like in cosmology where you have dark energy or radiation filling the universe and then these other components will matter these diagonal components are telling you the pressure in different directions T_{xx} is how much pressure in a fluid is being pushed in the X Direction T_{yy} pressure in the y direction T_{zz} pressure in the Z Direction and then all these off diagonal elements have to do with the flow of energy the flow the changes of momentum from one place to another the stress if you twist a rubber uh brick or something like that you make strain in there that also shows up in the

.....

(08)- budou se sbližovat a v jiném Směru se budou rozcházet, možná se budou sbližovat nebo rozcházet různými rychlostmi nebo v různých bodech prostoru a možná se nejen sbliží nebo rozcházejí, ale mohou se kroutit kolem sebe, jak jdou všichni z těchto věcí jsou možné, takže vynalézáme to, co se nyní nazývá Riemannův tenzor křivosti, je to označeno $R_{\lambda\mu\nu}$ nebo nějaká sada řeckých indexů, důležité je, že existují čtyři indexy, takže je to něco jako metrika, která měla dva indexy $G_{\mu\nu}$, Riemannův tenzor prostě nese spoustu informací, ptá se ho, odpovídá spíše na velmi komplikovanou otázku, dáte mi bod v prostoru počáteční úsečku a směr, ve kterém střílíte rovnoběžné čáry, vložíte to do Riemannova tenzoru a říká vám, jak se sbíhají, rozbíhají nebo se točí kolem sebe, obrovské množství informací, takže nepotřebujete pole čísel čtyři krát čtyři, máte čtyři indexy na Riemannově tenzoru, takže je to pole čtyři krát čtyři krát čtyři krát čtyři. čísla, takže jen pro řízení toho domova vektor v časoprostoru stejně jako vektor ve vesmíru má tři složky vektor v časoprostoru má čtyři tady je hybnost Vektor je hybnost v čase Směr X Směr Y Směr Z trochu sloupec čtyř čísel není tak tvrdý metrický tenzor, který jsme vám právě ukázali pole čísel 4×4 , o kterém jste si mysleli, že je těžké před dvěma snímky, teď si myslíte, že je to snadné, protože teď stojíme tváří v tvář Riemannovu tenzoru, který si můžete představit jako čtyřku čtyři pole čtyř na čtyři matice, nyní je to zde jen proto, abychom vás zastrašili, ve skutečnosti to není příliš užitečné, je zde tolik komponent, jasně, že buď budete mít nějaká zjednodušení nebo nějaké vztahy mezi nimi, nebo prostě máte počítač odvede práci a v reálném světě moderní fyziky jsou všechny tyto věci pravdivé, buď se podíváte na velmi jednoduché metriky, kde můžete vypočítat Riemannův tenzor a není to tak těžké, nebo prostě necháte počítač, aby to udělal za vás Byl jsem v podstatě příslušník poslední generace postgraduálních studentů by dnes musel tyto věci spočítat ručně, všechno to dělají počítače, ale to je místo, kde jsme, vynalezli jsme nebo nám bylo řečeno, že nás učil Marshall Grossman, co je to matematika nástroje, které používáme k popisu zakřivení časoprostoru, metrika nám říká, jaká je geometrie, z metriky můžeme vypočítat Riemannův tenzor, který mi říká, jak velké zakřivení je v každém bodě, a teď to Einstein musí uvést do praxe vytvořte rovnici pro gravitaci, dobře, takže se vrátíme k Newtonově rovnici pro gravitaci a řekneme si, jak vymyslíme alternativu, aby Newtonova rovnice zahrnovala zrychlení, nezapomeňte, že jsme zrušili malou hmotnost objektu, který je tlačенý kolem zrychlení úměrné hmotnosti věci, která nás táhne a nepřímo úměrné vzdálenosti, takže koncepčně bude zrychlení nahrazeno

nějakou mírou zakřivení časoprostoru a hmotnosti, která působí gravitaci, dobře už víme, že hmotnost má trochu jinou stav v relativitě, protože víme, že E se rovná mc^2 na druhou. Správný způsob, jak o tomto vzorci přemýšlet, je, že hmotnost je jen jeden druh energie, existuje mnoho různých druhů energie, existuje kinetická energie, potenciální energie věci jako tato hmotnost je jeden druh energie, kterou oni' jsou sjednoceny dohromady ve skutečnosti jsou sjednoceny hlouběji než samotná energie v relativitě se sjednocuje s hybností a jinými druhy energie a hybnosti, druhy věci teplo a tlak a všechny ty věci v pořádku, takže přeskakování některých kroků hádejte, jaká je náhrada za číslo hmota v newtonské mechanice bude tenzorem v relativitě má název tenzor hybnosti energie nebo někdy nazýván tenzor energie napětí, píše se $T_{\mu\nu}$ a má složky stejně jako metrika a opět tyto složky mají různé fyzikální vlastnosti to znamená, že složka TT nebo nulová nulová složka tenzoru hybnosti energie je energie a to zahrnuje hmotnost, takže pokud máte pouze objekt jako Slunce nebo Země, který se pohybuje pomalu ve srovnání s rychlostí světla, pak tato složka energie Tenzor hybnosti dělá veškerou práci, tento bude velký, všechny ostatní položky budou velmi malé a můžete to ignorovat, ale máte situace jako v kosmologii, kdy máte temnou energii nebo záření vyplňující vesmír a pak na těchto ostatních složkách bude záležet. Diagonální komponenty vám říkají tlak v různých směrech t_{xx} je, kolik tlaku v tekutině je tlačeno ve směru X t_{yy} tlak ve směru y TZ tlak ve směru Z a pak všechny tyto mimodiagonální prvky mají co do činění s průtokem energie proudění změny hybnosti z jednoho místa na druhé stres, pokud zkroutíte gumovou cihlu nebo něco podobného, vytvoříte tam napětí, které se také projeví v

.....

(09)- energy momentum tensor but we don't need to worry about that the point is that whatever energy like stuff you have we have a way of talking about it in relativity this is the way the energy momentum tensor that is what's going to replace the mass in Newton's equation so this is what Einstein learned by talking to Grossman and by using his own brain cells he says okay we have a metric on space time the metric tells us distances we can use the metric there's a well-defined procedure that lets us calculate the Riemann tensor which tells us curvature and we think that curvature is gravity we want to set curvature equal to some way of talking about mass and energy the right way of doing that is clearly the energy momentum tensor team you knew so to replace Newton's equation the acceleration is proportional to the mass we're going to want to somehow relate the Riemann curvature tensor to the energy momentum tensor on this side we have the curvature of space time on this side we have stuff planets and stars and dark matter and what have you okay all of that stuff we're so close we're almost there but the problem is these tensors have different numbers of indices so literally team you knew is a **4x4 Matrix** $R_{\lambda\rho\mu\nu}$ is a four by four by four by four Matrix they can't be equal to each other they can't even be proportional to each other they're different kinds of beasts okay they're they're different geometric objects different kinds of quantities if only there is some way to sort of boil down the **Riemann tensor** to something smaller that we could set proportional to the energy momentum tensor than we would be in luck of course I'm telling you this because there is a way to do exactly that this was figured out by the pioneers of differential geometry christophel Richie levitivada and so forth so they figured out ways to take the Riemann tensor and distill it down to define a tensor with two indices which we now call the **Richie tensor** and you can distill that down even more to something called the curvature scalar so what do I mean by distilling down I mean that there are ways to combine certain components of the Riemann tensor in a way to still have a well-defined tensor but with fewer indices you lose information by doing that there's more information contained in the

Riemann tensor than in the Ricci tensor than the curvature scalar so that's why the arrows go this way from Riemann you can calculate Ricci from Ricci you can calculate the curvature scalar but you can't go backwards okay the point is that these are the tools that we have to put together a tensor that might be proportional to the energy momentum tensor and as soon as you look at this schema you say well look there it is there's the Ricci tensor it has two indices let's just make that proportional to the energy momentum tensor and in fact good for you if you had that thought because that's exactly the thought that Albert Einstein had he proposed that as the right equation for general relativity it turns out not to work it turns out not to work because basically there would not be any solutions to that equations unless you violated energy conservation in some subtle way so he really lies that very quickly he was smart he was Einstein back to the drawing board he said maybe there's some combination of these things that I can that I can put together that would work and indeed you know the right answer because we showed it to you on the second slide this is the right combination of tensors to set proportional to the energy momentum tensor are $\mu_{\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu}$ μ_{ν} is eight πG where G is Newton's constant of gravity $8\pi G$ and π are famous numbers that you know and team you knew is the energy momentum tensor so this is really Einstein's equation this is the equation they won't tell you in most popular treatments for obvious reasons we just went through a lot of work to explain what it is but it's not beyond our comprehension by any stretch it's a four by four array of numbers that we can calculate calculate given the metric we could figure out what was going on here and what we actually do as scientists as physicists is we solve this equation for the metric so you say well I have a certain distribution of energy and and radiation and pressure and whatever I'm going to figure out what how that curve space time by solving for the metric tensor now we have to confess it's going to be complicated okay I didn't tell you the formula for the Riemann tensor in terms of the metric here it is in a particularly unhelpful form this is one component of the Riemann

(09)- tenzor hybnosti energie, ale o to se nemusíme starat, jde o to, že ať už máte jakoukoli energii podobnou věci, máme způsob, jak o ní mluvit v relativitě, toto je způsob, jakým bude tenzor hybnosti energie nahradit hmotu v Newtonově rovnici, takže to je to, co se Einstein naučil tím, že mluvil s Grossmanem a pomocí svých vlastních mozkových buněk řekl, že dobře, máme metriku časoprostoru metrika nám říká vzdálenosti, kterou můžeme použít, existuje dobře definovaný postup, který dovolte nám vypočítat Riemannův tenzor, který nám říká zakřivení, a my si myslíme, že zakřivení je gravitace, chceme nastavit zakřivení rovnající se nějakému způsobu mluvení o hmotě a energii správný způsob, jak to udělat, je jasně tím tenzorů energie hybnosti, o kterém jste věděli, že ho nahradit Newtonova rovnice, zrychlení je úměrné hmotnosti, kterou budeme chtít nějak propojit Riemannův tenzor křivosti s tenzorem energie mentum na této straně máme zakřivení časoprostoru na této straně, máme hmotu planet a hvězd a temnou hmotu a co máš v pořádku, všechny ty věci jsme tak blízko, že jsme skoro tam, ale problém je v tom, že tyto tenzory mají různé počty indexů, takže doslova tím, o kterém jste věděli, je **4x4 Matrix** $R_{\lambda\rho\mu\nu}$ je čtyři na čtyři na čtyři čtyřmi Matrixy se nemohou navzájem rovnat, nemohou být ani proporcionální, jsou to různé druhy zvířat, jsou to různé geometrické objekty, různé druhy veličin, pokud existuje nějaký způsob, jak tak nějak zredukovat Riemannův tenzor na něco menšího, co bychom mohli nastavit úměrně tenzoru hybnosti energie, než bychom měli štěstí, samozřejmě vám to říkám, protože

existuje způsob, jak přesně to udělat, že na to přišli průkopníci diferenciální geometrie **Christophel Richie Ricci** levitívada ?? a tak dále, takže přišli na způsoby, jak vzít Riemannův tenzor a destilovat jej dolů, aby definovali tenzor se dvěma indexy, které nyní nazýváme Richieho tenzor, a vy to můžete destilovat ještě více na něco, čemu se říká **zakřivení skalární**, takže co mám na mysli destilací, myslím tím, že existují způsoby, jak zkombinovat určité komponenty Riemannova tenzoru tak, abyste měli stále dobře definovaný tenzor, ale s menším počtem indexů ztratíte informace, protože v něm je obsaženo více informací. Riemannův tenzor než v Richieho tenzoru než škálovač křivosti, proto jdou šipky tímto směrem od Riemanna můžete vypočítat Richieho z Richieho můžete vypočítat skalární křivosti, ale nemůžete jít zpět, jde o to, že toto jsou nástroje, které musíme dát dohromady tenzor, který by mohl být úměrný tenzoru hybnosti energie, a jakmile se podíváte na toto schéma, řeknete dobře, podívejte se tam, je tam Richieho tenzor, má dva indexy, udělejme to úměrné tenzoru hybnosti energie a ve skutečnosti je pro vás dobré, kdybyste měli tuto myšlenku, protože to je přesně ta myšlenka, kterou navrhl Albert Einstein, že jako správná rovnice pro obecnou relativitu se ukáže, že nefunguje, ukáže se, že nefunguje, protože v podstatě by neexistovala žádná řešení k těm rovnicím, pokud jste nějakým rafinovaným způsobem neporušili úsporu energie, takže opravdu lže, že velmi rychle byl chytrý, byl Einstein zpátky na rýsovacím prkně, řekl, že možná existuje nějaká kombinace těchto věcí, kterou dokážu, kterou mohu sestavit a která by fungovala a skutečně znáte správnou odpověď, protože jsme vám ji ukázali na druhém snímku, toto je správná kombinace tenzorů k nastavení úměrně energetickému tenzoru hybnosti jsou mu Nu minus jedna polovina r g mu Nu je 8 Pi g t munu Richieho tenzor minus poloviční zakřivení skalární krát kopie metriky je 8 Pi G kde G je Newtonova gravitační konstanta 8 a Pi jsou slavná čísla, která znáte a tím, o kterém jste věděli, je tenzor hybnosti energie, takže toto je skutečně Einsteinova rovnice, toto je rovnice, kterou vám ze zřejmých důvodů neřeknou u většiny populárních léčebných postupů, právě jsme si dali hodně práce, abychom vysvětlili, co to je, ale v žádném případě to není nad naše chápání, je to pole čísel čtyři krát čtyři, které můžeme spočítat, metrikou, kterou bychom mohli zjistit, co se tady dělo a co vlastně děláme jako vědci jako fyzici, je, že řešíme tuto rovnici pro metriku, takže říkáte dobře, že mám určité rozložení energie a záření a tlaku a ať už jdu cokoli abychom přišli na to, jak je ta křivka časoprostoru vyřešením pro metrický tenzor, teď musíme přiznat, že to bude složité, dobře, neřekl jsem vám vzorec pro Riemannův tenzor z hlediska metriky, tady je to zvlášť neúčinná forma toto je jedna složka Riemanna

(10)- tensor are 01 02 in terms of components of the metric and their derivatives and as you see you can tell if you're very clever and look closely at this picture just from the font you can tell that I didn't type this in this was generated by a computer and honestly this is just showing off because this is just to drive home the fact that even though in principle the Riemann tensor depends on the metric in practice the formulas get very very complicated conceptually a human being can wrap their brains around it but calculationally you better hope for some simplifications where you won't be able to solve it so Einstein in particular thought that his own equation was so complicated that nobody would ever be able to solve it and so he just used approximation schemes to do it but Einstein gave a talk that the German at the Prussian Academy of Sciences sorry and in the audience was this guy Carl shortshield he was on leave from the German Army it's literally the middle of World War One schwartzshield was a physicist in Germany who was uh in in the German Army put to work calculating the trajectories of artillery shells but on his leave he went to Electro by Einstein and became

fascinated by general relativity and he said I can solve this equation so short Schwarzschild tackled an especially important but relatively simple problem spherically symmetric distribution of matter like the sun and empty space outside okay so of course in the real world we had the Earth the planets Etc but they're tiny we can ignore them let's just imagine that team you knew equals zero that there is no energy and momentum outside the Sun and everything spherically symmetric can we solve Einstein's equation in that case and Schwarzschild says yes and here it is this is the celebrated short Schwarzschild solution you see it is kind of like Minkowski's base remember Minkowski was plus one minus one minus one minus one these components here have an r^2 and a $\sin^2 \theta$ just because we're using spherical coordinates rather than rectangular coordinates nothing really crazy about that the important action is going up here in the top left you see that there's a plus one and a minus one so there's a resemblance to Minkowski space but there's also this thing that depends on R depends on the distance you are from the Star and in fact you can use this and you can use this to calculate the precession of Mercury the deflection of light all of these real world phenomena but as soon as short Schwarzschild put this this is the the last thing I want to say in the talk because this is sort of the payoff the reward that you get for following this this far this short Schwarzschild metric is a solution to Einstein's equation it came after the equation okay so Einstein says here's my equation short Schwarzschild says here I solved it and you have to sort of learn to live with the consequences right so you notice what's going on here physically as R gets big as you're very very far away from the object $2GM/R$ goes to zero as some constant over R and R gets big so this is just plus one likewise this is just minus one and you're just back in Minkowski space so this is just saying far away from the Star there's no gravity which is more or less true but what about when R gets close to this number 2 times G times M two times Newton's constant times the mass well this $2GM/R$ goes to one so the zero zero component of the metric goes to zero which is a little scary and weird and this is minus one over that so it's one over zero which is infinity that sounds very bad neither short Schwarzschild nor Einstein nor anyone else knew what to do about this this equation seems to go crazy when R approaches the quantity GM and they honestly didn't know how to deal with it so they kind of lived in denial about it what's going on what's going on is there's a black hole there the radius R equals $2GM$ is what we call the Event Horizon of a black hole and you can even think about this physically remember the zero zero component of the metric is the rate of passage of time of your personal time compared to the T coordinate in the background so it goes to zero as you go close to R equals $2GM$ so here is this quantity g_{00} versus R and when it's at $2GM$ that quantity is zero that's the Event Horizon of a black hole and this is telling you that if you visit a black hole and just hang out just outside okay then you come back it's just like being the twin in the twin paradox that zooms out near the speed of light you will have experienced much less time than someone who stayed home no one has ever done this except Matthew McConaughey in the movie Interstellar that's why when he comes back his daughter is now much older than him and all of this was you know no one knew what to make of this Einstein and Churchill went to their graves not understanding this black holes first were talked about in

.....

(10)- tenzory jsou 01 02, pokud jde o složky metriky a jejich deriváty, a jak vidíte, poznáte, že jste velmi chytrí a pozorně se podíváte na tento obrázek, jen z písma poznáte, že jsem nepsal, toto bylo vygenerováno počítačem a upřímně, je to jen předvádění, protože to je jen

pro vyvrácení skutečnosti, že i když v zásadě Riemannův tenzor závisí na metrice, v praxi jsou vzorce velmi komplikované koncepčně, lidská bytost může zabalit jejich mozky kolem toho, ale výpočtově raději doufejte v nějaká zjednodušení, kde to nebudete schopni vyřešit, takže zvláště Einstein si myslel, že jeho vlastní rovnice je tak složitá, že ji nikdo nikdy nebude schopen vyřešit, a tak použil pouze aproximační schémata aby to udělal, ale Einstein promluvil, že se Němci z Pruské akademie věd omlouvám a v publiku byl ten chlap Carl Shortshield byl na dovolené z německé armády je doslova uprostřed první světové války Schwartzshield byl fyzik v Německu, který byl v německé armádě zaměstnán výpočtem trajektorií dělostřeleckých granátů, ale na dovolené šel do Electro by Einstein a začala ho fascinovat obecná teorie relativity a řekl, že dokážu vyřešit tuto rovnici tak krátce, Shield se vypořádal s obzvláště důležitou, ale relativně jednoduchou problémem sféricky symetrické rozložení hmoty jako slunce a prázdný prostor venku v pořádku, takže samozřejmě v reálném světě jsme měli Zemi, planety, atd. energii a hybnost mimo Slunce a vše sféricky symetrické, můžeme v tom případě vyřešit Einsteinovu rovnici a Schwartzshield říká, ano a tady je to to oslavované řešení krátkého štítu, vidíte, je to něco jako Minkowskiho základ pamatujte, že Minkowski byl plus jedna mínus jedna mínus jedna mínus jedna (47:46h) tyto komponenty zde mají r^2 na druhou a sinusku na druhou theta jen proto, že používáme spíše sférické souřadnice než pravoúhlé souřadnice, nic opravdu bláznivého na tom, že důležitá akce probíhá zde vlevo nahoře, vidíte, že je tu plus jedna a mínus jedna, takže je tu podobnost s minkowským prostorem, ale je tu také tato věc, která závisí na R závisí na vzdálenosti, ve které jste od hvězdy, a ve skutečnosti to můžete použít a můžete to použít k výpočtu procesí rtuti a vychýlení světla všechny tyto fenomény reálného světa, ale jakmile krátký Shield uvedl toto, toto je poslední věc, kterou chci v přednášce říci, protože toto je druh odměny, kterou dostanete za to, že budete následovat tuto krátkou metriku Shield je řešení Einsteinovy rovnice, přišlo po rovnici v pořádku, takže Einstein říká, tady je moje rovnice krátká Shield říká, že jsem to vyřešil a musíte se tak trochu naučit žít s důsledky, abyste si všimli, co se tady fyzicky děje, když R dostane velký, protože jsi velmi velmi daleko od objektu $2g_m$ nad R jde na nulu, protože nějaká konstanta nad R a R se zvětšuje, takže toto je jen plus jedna, stejně tak toto je jen mínus jedna a právě jsi zpět v minkowském prostoru, takže tohle jen říká, že daleko od hvězdy není žádná gravitace, což je víceméně pravda, ale co když se R přiblíží k tomuto číslu 2 krát G krát M 2 krát Newtonova konstanta krát hmotnost dobře tyto $2g_m$ přes R jde na jedničku, takže nula nulová složka metriky jde na nulu, což je trochu děsivé a divné, a tohle je oproti tomu mínus jedna, takže je to jedna nad nulou, což je nekonečno, to zní velmi špatně, ani krátký Shield, ani Einstein ani nikdo jiný nevěděl, co s touto rovnicí dělat. Zdá se, že se zbláznili, když se R přiblíží množství ke GM a upřímně nevěděli, jak se s tím vypořádat, takže tak trochu žili v popírání toho, co se děje, co se děje, je tam černá díra, poloměr R se rovná $2g_m$ je čemu říkáme horizont událostí černé díry a můžete o tom dokonce přemýšlet, fyzicky si pamatujte, že nulová nulová složka metriky je rychlost plynutí času vašeho osobního času ve srovnání s T souřadnicí v pozadí, takže jde na nulu když se přiblížíte k R rovná se $2g_m$, takže zde je toto množství g_{00} oproti R, a když je to na $2g_m$, toto množství je nula, to je horizont událostí černé díry a to vám říká, že když navštívíte černou díru a jen se poflakujete venku dobře, pak se vrátíš, je to jako být dvojčetem v paradoxu dvojčete, který se oddaluje blízko rychlosti světla, zažiješ mnohem méně času než někdo, kdo zůstal doma, nikdo to nikdy neudělal kromě Matthewa McConaugheyho ve filmu Interstellar to je proč, když se vrátí, jeho dcera je nyní mnohem starší než on a tohle všechno bylo, víte, nikdo nevěděl, co si o tom myslet Einstein a Churchill šli do hrobu, nechápali, že se o černých dírách mluvilo poprvé v roce 1950

.....

(11)- a serious way in the 1950s it was until the 60s and 70s that most scientists thought oh yeah these are really important and now we're taking pictures of them this is an image from the Event Horizon telescope of light around the black hole at the center of our Milky Way galaxy it's a black hole four million times the mass of the sun this is the payoff the payoff is we go to all this effort to write down equations and think about them and solve them and the equations are smarter than we are the reason why we put so much effort in these equations is because we can use them to make predictions that our brains would not have been up to the task of making it's not just black holes it's gravitational waves and the creation of gravitational Waves by spiraling black holes it is the evolution of the universe it is the existence of invisible matter like dark matter it is the Big Bang itself all of these ideas these phenomena these Concepts were implicit in Einstein's equation even though they were not anywhere in the mind of Einstein and so understanding these phenomena both illuminates the world around us and understanding the equation not only helps us do that project but points us toward even better equations the great thing about physics is we're nowhere near done yet we're not finished coming up with the equations the next generation will come up with even better equations that are still smarter than they are and will tell us yet more fascinating secrets of the universe thank you very much

52:31

[Applause]

Na str. 5 končím s komentářem. Pak dál (listy 5 až 11) jsem v rozpacích „jak“ je komentovat ... „nemám na to koule“. Tenzorová matematika by mi vzala moc času. Mohu tu jen poznamenat „svůj objev“, že Einsteinova rovnice OTR obsahuje „G“ gravitační konstantu, která má-li rozměry, je to špatně. → http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/eng/eng_030.jpg plus

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f_056.jpg

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_317.jpg

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_084.pdf

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_139.jpg

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f_072.pdf

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f_067.jpg

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f_069.jpg

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f_070.jpg

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_137.pdf

<http://www.hypothesis-of-universe.com/en/index.php?nav=home>

18.02.2024

.....

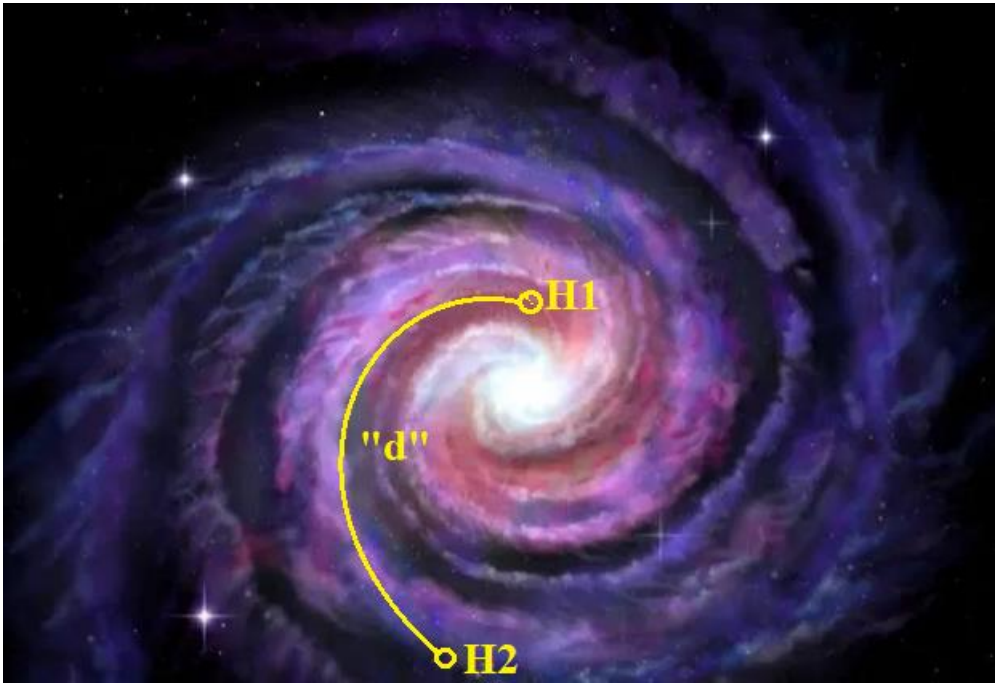
(11)- vážný způsob, jak v 50. letech 20. století to bylo až do 60. a 70. let, kdy si většina vědců myslela, ano, jsou opravdu důležité, a teď je fotíme, toto je snímek ze světelného dalekohledu Horizont událostí kolem černé díry ve středu naší galaxie Mléčná dráha je to černá díra čtyři milionykrát větší než Slunce, toto je odměna, odměna je, že jsme se snažili napsat rovnice, přemýšlet o nich a řešit je a rovnice jsou chytřejší než my jsme důvodem, proč vynakládáme tolik úsilí na tyto rovnice, je to, že je můžeme použít k předpovědi, že náš mozek by nebyl schopen zajistit, aby to nebyly jen černé díry, ale gravitační vlny a vytvoření gravitačních vln spirálovitými černými dírami je to evoluce vesmíru je to existence neviditelné hmoty jako temná hmota je to samotný Velký třesk všechny tyto myšlenky tyto jevy tyto pojmy byly implicitní v Einsteinově rovnici, i když nebyly nikde v mysli Einstein a tak **pochopení těchto jevů osvětluje svět kolem nás a porozumění rovnici nám nejen pomáhá uskutečnit tento projekt, ale ukazuje nás k ještě lepším rovnicím**, skvělá věc na fyzice je, že ještě zdaleka nekončíme, a ještě jsme neskončili. S rovnicemi příští generace přijde s ještě lepšími rovnicemi, které jsou stále chytřejší než oni, a prozradí nám ještě více fascinujících tajemství vesmíru, děkujeme moc 52:31 [Potlesk]

.....

Newtonův gravitační zákon (neplatí vždycky a všude) →

$$F_g = G \cdot \frac{M_1 \cdot m_2}{d^2} ; \text{ vzdálenost dvou hvězd } H_1 \text{ a } H_2 \text{ není v galaxii rovná úsečka „d“, ale úsečka v oblouku „d“}$$

Modifikovaný Newton. →



Mordehei Milgrom