

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

Thomas Harvey

# A new way to visualize General Relativity

Nový způsob vizualizace obecné relativity

1 193 621 zhlédnutí • 3. 9. 2020 • How to faithfully represent general relativity ? Is the image of the rubber sheet accurate ? What is the curvature of time ? All these answers in 11 minutes !

**(01)**- The idea behind this new representation is to make the best possible use of the video format and in particular its temporal dimension in order to faithfully reproduce what the mathematics tell us in middle school and then high school we learned that free fall can be modeled by a force it's the force of gravity this force allows us to predict the movement of objects stating that they are attracted to each other and in particular to massive objects like the earth however this description is merely an approximation and it fails when the pull is too strong such as the path of mercury around the sun it was in 1915 that albert einstein proposed a new theory a rigorous mathematical model which made it possible to describe freefall more accurately for einstein there is no such thing as a force that would act at a distance it is the fabric of the universe itself which gets distorted and drags objects into a fall in order to grasp this very complex theory it is important to design visualizations that make it more intuitive the representation that is most often used is that of a large elastic sheet on which massive objects are placed by deforming the fabric under their weight the more massive objects pull everything in their direction like marbles in a bowl at first this image seems to have two advantages it is very simple and intuitive and it helps us understand that bodies attract each other indirectly through an underlying fabric space-time whose geometry can be altered however although it is extremely widespread this way of presenting general relativity has a large number of problems which make it not very rigorous in this video we will try to improve this image by making four major changes to begin with the image of the elastic sheet seems to indicate that objects are placed on space-time like marbles while in reality space-time is the fabric of the universe that contains them therefore one improvement that we can start with is to flatten objects onto the surface so that it is clear that they are not exterior but contained within space-time next one of the biggest problems with this representation is that it sort of explains gravity by gravity to the question why does the apple fall on earth this visualization seems to answer that it is because the apple is pulled downwards which causes it to fall like a marble in a bowl [Music] but it is not acceptable to explain gravity inside space-time using gravity outside space-time we hence have to find a better explanation in particular it is more rigorous to say that if objects follow the well created by the earth it is because they move in a straight line but within a curved geometry when they fall objects move straight ahead but the curvature of space-time gives us the impression that these trajectories are deflected to understand we can imagine the surface of a sphere on which two ants would head north at the start the two paths are parallel and we might think that as they progress straight ahead the two trajectories will never cross however the two ants end up meeting at the north pole this is possible thanks to the curved geometry of the sphere on which straight lines tend to get closer

to one another inside space-time the phenomenon is similar and objects seem to attract each other when they are simply following the curve geometry in straight lines [Music] however this picture of an elastic sheet is still misleading indeed one could think that if space-time can bend it is due to the existence of a higher dimension here for example the two-dimensional sheet seems to bend into a third dimension in reality this is not the case and the mathematics of relativity do not require any higher dimension for the universe to bend it is therefore preferable not to represent this sheet seen from the side but rather from the top with a grid to illustrate the curvature while we're here this also allows us to restore the three dimensions of space in which we live [Music] finally the most important issue with this representation

.....

**(01)**- Myšlenkou této nové reprezentace je co nejlepší využití formátu videa a zejména jeho časové dimenze, abychom věrně reprodukovali to, co nám říká matematika na střední a poté na střední škole, kde jsme se naučili, že volný pád lze modelovat pomocí síly, je to síla gravitace, která nám umožňuje předvídat pohyb objektů, přičemž uvádí, že jsou přitahovány k sobě navzájem a zejména k masivním objektům, jako je Země, ale tento popis je pouze přibližný a selhává, když je tah příliš silný, například jako cesta rtuti kolem Slunce to bylo v roce 1915, kdy Albert Einstein navrhl nové teorii přísný matematický model, který umožnil přesněji popsat volný pád. Pro Einsteina, neexistuje nic jako síla, která by působila na dálku **samotná struktura vesmíru, která se zdeformuje** tou „strukturou“ je co ?? **Nemůže to být nic jiného než časoprostor a jeho dimenze veličin.** a zatáhne objekty do pádu, aby pochopila tuto velmi složitou teorii, **je důležité navrhnout vizualizace** díky čemuž je intuitivnější nejčastěji používaná reprezentace je velká **elastická plachta**, **zakřivený časoprostor tedy jeho dimenze** na kterou jsou umístěny masivní objekty deformováním látky pod jejich hmotností, čím masivnější objekty nejprve táhnou vše svým směrem jako kuličky v misce. Zdá se, že má dvě výhody, je velmi jednoduchý a intuitivní a pomáhá nám pochopit, že tělesa **se nepřímo přitahují prostřednictvím** podkladového časoprostoru, **proč se v trampolíně nekutálí těleso od středu důlku ?** Tato otázka proto, že síla = gravitace „neexistuje“ a vzniká až po zakřivení trampolíny, jenže „proč“ v trampolíně „běží“ těleso do důlku a ne opačně když síla neexistuje ??? Existuje jen trampolína a ta nenařizuje tělesu aby se kutálelo do středu **PROTOŽE** ještě neexistuje síla...teprve až se těleso rozhodne samo se kutálet do středu, můžeme prohlásit „dostředný“ pohyb za sílu jehož geometrii lze změnit, ačkoli je tento způsob prezentace obecné relativity velmi rozšířený z problémů, které v tomto videu nejsou příliš přísné, se pokusíme vylepšit tento obrázek provedením čtyř hlavních změn, které začínají obrazem pružného listu, což naznačuje, že objekty jsou umístěny na časoprostoru jako kuličky, zatímco ve skutečnosti prostor-čas je struktura vesmíru, která je obsahuje, takže jedno vylepšení, se kterým můžeme začít, je zploštění objektů na povrch tak, aby je jasné, že nejsou vnější, ale jsou obsaženy v časoprostoru, dalším z největších problémů této reprezentace je, že vysvětluje gravitaci gravitací na otázku, proč jablko padá na Zemi, tato vizualizace zřejmě odpovídá, že je protože jablko je **taženo** dolů, což způsobí jeho pád jako mramor v misce **jablko nemůže být „taženo“** když chceme říkat že síla neexistuje a existuje jen křivost čp. Mějmež libovolnou křivost čp a jak víme, že těleso do této libovolné křivosti umístěné, se bude „kutálet“ právě směrem k druhému tělesu ?? **neexistuje-li síla ?** [Hudba], ale je nepřijatelné vysvětlovat gravitaci uvnitř časoprostoru pomocí gravitace mimo časoprostor, **proto musíme najít lepší vysvětlení**, zejména přísnější říci, že pokud objekty sledují studnu vytvořenou Zemí, je to proto, **že se pohybují v přímce, ale v zakřivené geometrii**, když padají, objekty se pohybují přímo vpřed, ale zakřivení časoprostoru nám dává dojem, že tyto trajektorie jsou odkloněny k pochopení, můžeme si představit povrch koule, na kterou by na začátku dva mravenci mířili na sever, obě cesty jsou paralelní a mohli bychom si myslet, že když postupují rovně trajektorie nikdy nepřekročí, ale oba mravenci se nakonec setkají na severním pólu, což je

možné díky zakřivené geometrii koule, na které se přímé čáry ve vesmírném čase přibližují k sobě, jev je podobný a zdá se, že objekty přitahují navzájem, když jednoduše sledují křivkovou geometrii v přímkách [Hudba], nicméně tento obrázek pružného listu je stále zavádějící, dalo by se uvažovat, že pokud se časoprostor může ohýbat, je to například kvůli existenci vyšší dimenze zdá se, že dvourozměrný list se ohýbá do třetí dimenze, ve skutečnosti tomu tak není a matematika relativity nevyžaduje, aby se vesmír ohýbal, a když to nevyžaduje matematika, musí sám Vesmír smeknout a podřídít se matematice ...že ?? takovou logiku neuznávám. proto je lepší tento list nereprezentovat při pohledu ze strany, ale spíše shora s mřížkou pro ilustraci zakřivení, zatímco jsme tady, to nám také umožňuje obnovit tři dimenze prostoru, ve kterém žijeme [Hudba], konečně nejdůležitější i usilujte s tímto zastoupením

.....

**(02)-** is the fact that our diagram completely ignores the time dimension space-time is an object with four dimensions three dimensions of space but also one dimension of time which can equally bend and curve faithfully rendering a four-dimensional geometry is strictly impossible and we therefore have to find a trick a first idea would be to add small clocks to our diagram at each point of the grid in this way the space grid becomes a space time grid and we understand that time can flow differently depending on where we are [Music] that being said adding clocks to our diagram doesn't give us much more intuition and in particular we still don't really understand what causes objects to fall if we drop an apple for example why does it start to move towards the earth to really understand it is necessary to remove one dimension of space to represent the dimension of time in fact it is the time component of the curvature which explains gravity with such a diagram we see that the apple is always in motion even when it has no speed at the start of its fall the apple is still moving in time it progresses towards the future when no force is applied to the apple the curvature of space-time will gradually bend its trajectory between a temporal speed towards the future and a spatial speed towards the ground [Music] the apple moves in a straight line but the curvature of space-time rotates the orientation of this straight line between time and space we therefore understand that if the apple falls towards the ground it is because it started with a speed through time the curvature of space-time generated by the earth has merely converted this temporal speed into a spatial speed having said that as human beings we do not perceive the temporal speed of objects when an apple is dropped it appears to us to be motionless we do not perceive the fact that it has motion through time from our point of view we experience the world instant after instant and this diagram where objects form tubes over time world lines is not very intuitive [Music] our last step will therefore be to slice this diagram to cut it up instant by instant in order to form an animation which includes time [Music] the curvature of the universe which causes straight lines to curve towards the earth becomes a movement of contraction [Music] the rate of this contraction is constant and perpetual because the curvature of space-time which depends only on the mass of the earth is always the same [Music] however it is very important to understand that the geometry does not really contract it's the fact that straight lines get closer together that gives this impression of contraction [Music] the phenomenon is quite similar on the surface of a sphere the curvature is constant on the sphere but the straight lines seem to be perpetually getting closer together [Music] it is this representation which i find to be the most appealing for visualizing general relativity earth because it is very massive deformed space-time giving it a curvature for us the curvature of space-time appears as an endless contraction of the grid in technical terms we say that the volume contained between geodesics shrinks over time because of the curvature this grid that shrinks represents what we call inertial frames frames in freefall with respect to this grid a body that is not subject to any force will conserve its movement thus if we drop the apple with

no initial velocity as no force acts upon it it will remain motionless relative to the grid but as the grid contracts the apple will fall with this image of relativity it is also easy to see that the surface of the planet is constantly accelerating upwards because it is always going against the natural movement of the grid finally if we throw an object sideways with an initial velocity no force is applied on it and it will therefore continue in a straight line within the grid but as the grid contracts the object is constantly pulled back towards the earth that's exactly how the moon orbits the earth and the earth orbits the sun

.....

**(02)**- je skutečnost, že náš diagram zcela ignoruje časovou dimenzi časoprostoru je objekt se čtyřmi dimenzemi, třemi dimenzemi prostoru, ale také jednou dimenzí času, A tady je/bude nový začátek nového výzkumu : zjistit, zda i čas má také své dimenze a objasnit „proč“ je má, či nemá !!!! Já už od samého začátku svých úvah do HDV předpokládám, že i čas má své dimenze. A tyto jsou také stavebními kameny hmoty, která se může stejně věrně ohýbat a křivit, a kroutit = klubičkovat takže čtyřrozměrná geometrie je přísně nemožná, a proto máme najít trik. Zde stojíme na prastaré otázce „o geometrii“, která je jiná pro fyzikální realitu než pro matematickou realitu. Tady stojíme v místě nástupu „nových úvah“ o realitě časoprostoru : má či nemá tři časové dimenze ????????? [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c\\_012.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_012.jpg) ; [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f\\_047.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f_047.jpg) ; [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h\\_118.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h_118.jpg) je vidět, že dokonce je přirozenější aby byl čp 3+3D než aby byl 3+1D ...nutno vyzkoumat jen pravdu o čase. první myšlenkou by bylo přidat do našeho diagramu v každém bodě mřížky malé hodiny, a to tak, že se prostorová mřížka stane časoprostorovou mřížkou 3+3D a chápeme, že čas může plynout různě ano, různě znamená s různým tempem, tedy že bude i zakřivený čas se „rozbalovat“ v závislosti na tom, kde jsme [Hudba], že bylo řečeno, že přidání hodin do našeho diagramu nám nedává mnohem větší intuici a zejména stále nechápeme, co způsobí pád objektů, když upustíme jablko, například proč se začne pohybovat směrem k Zemi, aby tomu skutečně porozumělo je nutné odstranit jednu dimenzi prostoru, která představuje dimenzi času, ve skutečnosti je to časová složka zakřivení, která vysvětluje gravitaci pomocí takového diagramu, který vidíme, že jablko je vždy v pohyb, i když na začátku není plný rychlosti, jablko se stále pohybuje v čase, postupuje směrem k budoucnosti, když na jablko nepůsobí žádná síla, zakřivení časoprostoru postupně ohne jeho trajektorii mezi časovou rychlostí směrem k budoucnost a prostorová rychlost směrem k zemi [Hudba] jablko se pohybuje v přímce, ale zakřivení časoprostoru otáčí orientaci této přímky mezi časem a prostorem, proto chápeme, že pokud jablko padá k zemi, je to proto, začalo to rychlostí v čase (čili zrychlením ?) zakřivení časoprostoru generovaného Zemí pouze přeměnilo tuto časovou rychlost na prostorovou rychlost, když jsme řekli, že jako lidé nevnímáme časovou rychlost (čili že nevnímáme zrychlení ?) objektů, když je jablko upuštěno, zdá se jako abychom byli nehybní, nevnímáme skutečnost, že má emoce v čase, z našeho pohledu prožíváme svět okamžitě za okamžikem a tento diagram, kde objekty tvoří trubice o časové linie světa nejsou příliš intuitivní [Hudba] ? Naším posledním krokem bude sestřihání tohoto diagramu a jeho okamžité ořezání, aby se vytvořila animace, která zahrnuje čas [Hudba] ? zakřivení vesmíru, které bude rovné linky do ponoru do Země se stává pohybem kontrakce ? [Hudba], rychlost této kontrakce je konstantní a věčná, (není mi ke komentáři zcela jasně o čem tu je řeč) protože zakřivení časoprostoru, které závisí pouze na hmotě Země, je vždy stejné [Hudba] Je však velmi důležité pochopit, že geometrie se ve skutečnosti nezkrátí, je to skutečnost, že přímky se přibližují k sobě, což vytváří tento dojem kontrakce [Hudba], tento jev je na povrchu koule docela podobný, zakřivení je na kouli konstantní, ale přímky se zdají neustále se přibližovat [hudba], je to tato reprezentace, kterou považuji za nejpřitažlivější pro vizualizaci obecné relativity Země, protože je to velmi masivní deformovaný prostor - t Dáme

to zakřivení **pro nás zakřivení časoprostoru se jeví jako nekonečná kontrakce mřížky čili síť 3+3D** z technického hlediska říkáme, že objem obsažený mezi geodetikou se časem zmenšuje kvůli zakřivení této mřížky, která se zmenšuje, představuje to, co nazýváme setrvačné rámce ve volném pádu s ohledem na tuto mřížku si tělo, které není vystaveno žádné síle, zachová svůj pohyb, takže pokud upustíme jablko bez počáteční rychlosti, protože na něj nepůsobí žádná síla, zůstane nehybné vzhledem k mřížce, ale jak mřížka se smršťuje jablko padne s tímto obrazem relativity, je také snadné vidět, že povrch planety se neustále zrychluje nahoru, protože vždy jde proti přirozenému pohybu mřížky, konečně, pokud hodíme objekt do strany počáteční rychlostí žádná síla není aplikována na něj a bude tedy pokračovat v přímce uvnitř mřížky, ale jak se mřížka smršťuje, objekt je neustále tažen zpět k Zemi, která je přesná jak měsíc obíhá kolem Země a Země obíhá kolem Slunce.

JN, kom 13.08.2021

.....  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h\\_059.pdf](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h_059.pdf)