

<https://www.youtube.com/watch?v=L2suMPiuog4>

Loop Quantum Gravity Explained

Vysvětlení smyčkové kvantové gravitace




[PBS Space Time](#)

3,18 mil. odběratelů

1 405 975 zhlédnutí **15. 10. 2019** já otevřel až cca v prosinci 2024

PBS Member Stations rely on viewers like you. To support your local station, go to: <http://to.pbs.org/DonateSPACE> ↓ More info below ↓ Sign Up on Patreon to get access to the

Space Time Discord!  [/pbsspacetime](#) Check out the Space Time Merch Store <https://pbsspacetime.com/> It's time we talked about loop quantum gravity. What exactly is it? What are the loops? And can it really defeat string theory in our quest for a Theory of Everything? Hosted by Matt O'Dowd Written by Graeme Gossel & Matt O'Dowd Graphics by Leonardo Scholzer Directed by: Andrew Kornhaber Executive Producers: Eric Brown &

Andrew Kornhaber End Credits Music by J.R.S. Schattenberg:  [/@juleschattenberg](#)

The holy grail of physics is to connect our understanding of the tiny scales of atoms and subatomic particles with that of the vast scales of planets, galaxies, and the entire universe. To connect quantum physics with Einstein's general theory of relativity. Our search for a theory of quantum gravity is a century old, and we've talked quite a bit about it already, including what's probably the lead contender - string theory. But string theory isn't the only game in town - or so some physicists believe. There may be another way to reconcile the physics of the tiny and the gigantic - another way to a theory of quantum gravity that avoids a lot of conceptual baggage like tiny wiggling strings made of coiled up extra dimensions. That other way would be loop quantum gravity, and today we're going to learn exactly what it is. Special Thanks to Our Patreon Supporters Big Bang Supporters: David Barnholdt David Boyer David Nicklas Fabrice Eap Juan Benet matt miller Morgan Hough Quasar: Mark Heising Mark Rosenthal Vinnie Falco Hypernova: chuck zegar Danton Spivey Donal Botkin Edmund Fokschaner Hank S joe pearce John Hofmann John R. Slavik Jordan Young Joseph Salomone Mathew Matthew O'Connor Syed Ansar Gamma Ray Burst: A G Adrien Molyneux AlecZero Andreas Nautsch Bradley Jenkins Brandon labonte Brian Dan Warren Daniel Lyons David Bethala DFaulk Frederic Simon Geoffrey Short Graydon Goss Greg Smith James Flowers John Funai John Griffith John Michael Kerr John Pollock John Robinson Jonathan Nesfeder Joseph Dillman Josh Thomas Kevin Lee Kevin Warne Kyle Hofer Malte Ubl Nick Virtue Nick Wright Paul Rose Scott Gossett Sean Warniaha Tim Stephani Tonyface Yurii Konovaliuk

Vysvětlení kvantové gravitace smyčky. Vesmírný čas PBS

3,18 mil. odběratelů 1 405 975 zhlédnutí 15. 10. 2019

Členské stanice PBS spoléhají na diváky, jako jste vy. Chcete-li podpořit svou místní stanici, přejděte na: <http://to.pbs.org/DonateSPACE> ↓ Více informací níže ↓ Zaregistrujte se na Patreonu a získejte přístup k Space Time Discord! / [pbsspacetime](https://pbsspacetime.com/) Podívejte se na Space Time Merch Store <https://pbsspacetime.com/> **Je čas, abychom mluvili o smyčkové kvantové gravitaci. Co to přesně je? Jaké jsou smyčky?** A může skutečně porazit teorii strun v našem pátrání po teorii všeho? Moderuje **Matt O'Dowd** Napsali Graeme Gossel a Matt O'Dowd Grafika Leonarda Scholzera Režie: Andrew Kornhaber Výkonní producenti: Eric Brown & Andrew Kornhaber End Credits Hudba od J.R.S. Schattenberg: / @juleschattenberg **Svatým grálem fyziky je propojit** naše chápání malých měřítek atomů a subatomárních částic s tím, co se týká obrovských měřítek planet, galaxií a celého vesmíru. **Propojit kvantovou fyziku s Einsteinovou obecnou teorií relativity.** Naše pátrání po teorii kvantové gravitace je staré století a už jsme o tom mluvili docela dost, včetně toho, co je pravděpodobně hlavním uchazečem – teorie strun. Teorie strun ale není jedinou hrou ve městě – alespoň si to někteří fyzici myslí. Může existovat jiný způsob, jak sladit fyziku maličností a gigantů – jiný způsob k teorii kvantové gravitace, která se vyhýbá spoustě konceptuálních zavazadel, jako jsou drobné **třesoucí se struny vyrobené ze svinutých extra dimenzí.** **Pokud jsou struny vyrobeny z dimenzí a .. a dimenze jsou reálné artefakty fyzikálních veličin „Délka“ a „Čas“, pak už nikdo nikdy nezničí HDV, která tvrdí, že hmota je vyrobená z dimenzí časoprostoru, tj. z dimenzí dvou veličin.** Tím jiným způsobem by byla smyčková kvantová gravitace a dnes se přesně dozvíme, co to je. Zvláštní poděkování našim podporovatelům Patreonu **Průznivci velkého třesku:** David Barnholdt David Boyer David Nicklas Fabrice Eap Juan Benet matný mlynář Morgan Hough kvasar: Mark Heising Mark Rosenthal Vinnie Falco Hypernova: chuck zegar Danton Spivey Donal Botkin Edmund Fokschaner Hank S joe pearce John Hofmann John R. Slavík Jordan Young Joseph Salomone Mathew Matthew O'Connor Syed Ansar Záblesk gama záření: A G Adrien Molyneux AlecZero Andreas Nautsch Bradley Jenkins Brandon labonte Briane Dan Warren Daniel Lyons David Bethala DFaulk Frederic Simon Geoffrey Short Graydon Goss Greg Smith James Flowers John Funai John Griffith John Michael Kerr John Pollock John Robinson Jonathan Nesfeder Joseph Dillman Josh Thomas Kevin Lee Kevin Warne Kyle Hofer Malte Ubl Nick Virtue Nick Wright Paul Rose Scott Gossett Sean Warniaha Tim Stephani Tonyface Jurij Konovaliuk

0:00

(01)- It's time we talked about loop quantum gravity. What exactly is it? What are the loops? And can it really defeat string theory in our quest for a Theory of Everything? The holy grail of physics is to connect our understanding of the tiny scales of atoms and subatomic particles with that of the vast scales of planets, galaxies, and the entire universe. To connect quantum physics with Einstein's general theory of relativity. Our search for a theory of quantum gravity is a century old, and we've talked about it quite a bit already, including what's probably the lead contender - string theory. But string theory isn't the only game in town - or so some physicists believe. There may be another way to reconcile the physics of the tiny and the gigantic - another way to a theory of quantum gravity that avoids a lot of conceptual baggage like tiny wiggling strings made of coiled up extra dimensions. That other way would be loop quantum gravity, and today we're going to find out exactly what it is. Back in the day we talked about why combining quantum mechanics with general relativity was so hard. For example, there's the fact that general relativity - or perhaps quantum mechanics breaks down when we think about the extreme densities of the black hole or the big bang singularities. But

there are more fundamental conflicts: namely, background independence and the problem of time. Now, I'll mention the problem of time briefly in a little bit, but the real focus is going to be on this background independence thing because this is what really inspired the invention of loop quantum gravity. So what is it? Quantum mechanics, and indeed most theories in physics, involve a set of equations describing how stuff moves around, exerts force, etc. on some background coordinate system. Like actors on a stage, where the actors are particles and wavefunctions and fields and the stage is the coordinates of space and time. In quantum mechanics that stage is flat and static and isn't influenced by the actors. It requires some giant hacks to even attempt regular quantum calculations in a non-flat geometry. In short: quantum mechanics is NOT background independent. General relativity, on the other hand, has to be background independent - because that's what its equations do - they change the background. They describe how the presence of mass and energy warp the fabric of spacetime. Our background coordinate system itself becomes a dynamic entity. More precisely, the metric - the object encapsulating the geometry and causal structure of spacetime - evolves in the equations of GR. So those equations need to work regardless of that background. In string theory, a type of background independence emerges in an abstract space of moving strings

3:01

and with that comes a gravitational field. But for that to work first you need those strings to exist - and we don't know if they do. **Loop quantum gravity** tries to quantize general relativity with no strings attached, while preserving the background independence already inherent to GR. But why is quantizing general relativity so difficult in the first place? The challenge really gets us to the fundamentals of what a quantum theory actually is. So just quickly, let's review all of quantum mechanics. In classical physics, we have variables like position, time, momentum, energy - mathematical expressions that represent the observable properties of the object or system that you're trying to describe. Some of these - say, position and time - also form our background coordinate system. But in quantum mechanics, things aren't so straightforward. Certain properties have an in-built uncertainty and only take concrete values after measurement.

4:00

Absent measurement, they exist in a fuzzy space of possibilities called a wavefunction. In the first formulations of quantum mechanics, that wavefunction describes the distribution of possible positions and momenta of, say, a particle. These can then be resolved into concrete, measured values by acting on the wavefunction with so-called position and momentum operators. The wavefunction and operators are fundamentally tied to the coordinate system. After all, the position and momentum of quantum mechanics literally describes location on a spatial coordinate system and the change in that location over time. That makes it highly background dependent. There are other ways to formulate quantum mechanics, like quantum field theory, but these ultimately have the same issue. But it gets worse actually. In quantum mechanics, time is treated completely separately to other variables - there is no "time wavefunction" or "time operator".

5:00

This is completely at odds with general relativity, in which time is treated as just another dimension. This is the "problem of time" that I mentioned, and it's strongly connected to background independence. A quantum theory of gravity needs to fix both of these issues - but

.....

(01)- Je čas, abychom mluvili o **smyčkové kvantové gravitaci**. Co to přesně je? **Jsem opravdu zvědav na vysvětlení...** Jaké jsou smyčky? A může skutečně porazit teorii strun v našem pátrání po teorii všeho? Svatým grálem fyziky je **propojit** naše chápání malých měřítek atomů a subatomárních částic s tím, co se týká obrovských měřítek planet, galaxií a celého vesmíru. **Ještě víc jsem zvědav na propojení nelineární a lineární rovnice...** **Propojit** kvantovou fyziku s Einsteinovou obecnou teorií relativity. Naše hledání teorie kvantové gravitace je staré sto let a už jsme o ní mluvili docela dost, včetně toho, co je pravděpodobně hlavním uchazečem – teorie strun. Ale teorie strun není jedinou hrou ve městě – nebo si to alespoň někteří fyzici myslí. Může existovat jiný způsob, jak sladit fyziku maličkovitých a gigantů – jiný způsob k teorii kvantové gravitace, která se vyhýbá spoustě konceptuálních zavazadel, jako jsou drobné třesoucí se struny vyrobené ze svinutých extra dimenzí. Jiným způsobem by byla smyčková kvantová gravitace a dnes přesně zjistíme, co to je. Kdysi jsme mluvili o tom, proč bylo spojení kvantové mechaniky s obecnou teorií tak těžké. Například je tu skutečnost, že obecná teorie relativity - nebo možná kvantová mechanika se rozpadá, když přemýšlíme o extrémních hustotách černé díry nebo singularitách velkého třesku. Existují však zásadnější konflikty: totiž nezávislost na pozadí a problém času. Nyní se krátce zmíním o problému času, ale skutečný důraz bude kladen na tuto věc nezávislosti na pozadí, protože to je to, co skutečně inspirovalo vynález smyčkové kvantové gravitace. Tak co to je? Kvantová mechanika a vlastně většina teorií ve fyzice zahrnuje sadu rovnic popisujících, jak se věci pohybují, jak působí silou atd. na nějaký souřadnicový systém pozadí. Jako herci na jevišti, kde herci jsou částice a vlnové funkce a pole a jeviště jsou souřadnicemi prostoru a času. V kvantové mechanice je toto jeviště ploché a statické a není ovlivněno herci. Vyžaduje to nějaké obří hacky, aby se dokonce pokusily o pravidelné kvantové výpočty v neploché geometrii. Stručně řečeno: kvantová mechanika **NENÍ** nezávislá na pozadí. Na druhou stranu obecná teorie relativity musí být nezávislá na pozadí - protože to je to, co dělají její rovnice - mění pozadí. Popisují, jak přítomnost hmoty a energie deformuje strukturu časoprostoru. Náš souřadnicový systém na pozadí se sám stává dynamickou entitou. Přesněji řečeno, metrika - objekt zapouzdřující geometrii a kauzální strukturu časoprostoru - se vyvíjí v rovnicích GR. **Takže tyto rovnice musí fungovat bez ohledu na toto pozadí.** V teorii strun se typ nezávislosti na pozadí objevuje v abstraktním prostoru pohybujících se strun

3:01

a s tím přichází gravitační pole. Ale aby to fungovalo nejprve, potřebujete, aby tyto řetězce existovaly - a nevíme, zda existují. **Smyčková kvantová gravitace se snaží kvantovat obecnou relativitu bez připojených řetězců**, přičemž zachovává nezávislost na pozadí, která je již vlastní GR. Ale proč je vůbec kvantování obecné teorie relativity tak obtížné? Tato výzva nás skutečně přivádí k základům toho, co kvantová teorie vlastně je. Takže rychle, pojďme si zopakovat celou kvantovou mechaniku. V klasické fyzice máme proměnné jako poloha, čas, hybnost, energie – matematické výrazy, které představují pozorovatelné vlastnosti objektu nebo systému, který se snažíte popsat. Některé z nich – řekněme poloha a čas – také tvoří náš souřadnicový systém pozadí. Ale v kvantové mechanice věci nejsou tak přímočaré. Určité vlastnosti mají vestavěnou nejistotu a nabývají konkrétních hodnot až po měření. **Zatím je to pro mě dost složité, abych tomu plně chápal a rozuměl...**

4:00

Bez měření existují ve fuzzy prostoru možností nazývaném vlnová funkce. V prvních formulacích kvantové mechaniky tato vlnová funkce popisuje rozložení možných poloh a hybnosti, řekněme, částice. Ty pak mohou být převedeny na konkrétní naměřené hodnoty

působením na vlnovou funkci pomocí tzv. polohových a hybných operátorů. Vlnová funkce a operátory jsou zásadně svázané se souřadnicovým systémem. Koneckonců, poloha a hybnost kvantové mechaniky doslova popisuje umístění v prostorovém souřadnicovém systému a změnu tohoto umístění v průběhu času. To je vysoce závislé na pozadí. Existují další způsoby, jak formulovat kvantovou mechaniku, jako je kvantová teorie pole, ale tyto mají nakonec stejný problém, ale ve skutečnosti se to zhoršuje. V kvantové mechanice se s časem zachází zcela odděleně od ostatních proměnných – **neexistuje žádná „časová vlnová funkce“ nebo „časový operátor“**.

5:00

To je zcela v rozporu s obecnou teorií relativity, ve které se s časem zachází **jen jako s jinou dimenzí**. Toto je „problém času“, který jsem zmínil, a je silně spojen s nezávislostí na pozadí. Kvantová teorie gravitace potřebuje vyřešit oba tyto problémy – ale

.....

(02)- we're going to focus on background independence for now. The equations of quantum mechanics let you calculate changing properties of a particle- - like its position or momentum - relative to the background coordinate system. The equations of general relativity let you calculate the changing shape of the coordinate system itself, encapsulated in the metric. So maybe instead of thinking about the quantum fuzziness of position and momentum we can think about the quantum fuzziness of the metric itself. And instead of an equation that describes the quantum evolution of the properties of an object in spacetime, maybe there's an equation that describes the quantum evolution of the geometry of space. Well, there is - or at least an attempt at one.

6:01

It's called the Wheeler-deWitt equation, based on something called the ADM Formalism. ADM starts by defining this abstract space of spaces - 3-D spatial metrics, 3-D space slices cut out of 4-D spacetime. It then gives a sort of equation of motion for how these metrics evolve through time. You can imagine a funky coordinate system describing where you are in this abstract space of metrics. As you move through this coordinate system, the geometry of space changes. You can also imagine analogies of the position and momentum in this space of metrics. So the Wheeler-deWitt equation quantizes these - turns them into quantum operators. The result is a quantum equation for the fabric of space. A contender for a theory of quantum gravity. The Wheeler-deWitt equation was promising, but turned out to be ... unsolvable. Which makes it not so useful, and impossible to verify as correct. So perhaps this whole path of using abstract coordinates is a dead end, or perhaps we just haven't gone down it far enough. That's what loop quantum gravity does - it takes us down the abstraction rabbit hole - past our space of metrics into a space of something called connections. And these connections are going to give us our loops. Connections are mathematical functions that tell you how something, like a vector, changes as it moves between two points in a space. We saw an example way back in the day when we looked at parallel transport. As you move the base of a vector along a path in curved space, the vector rotates. And the amount of rotation encodes information about the changes in geometry along the path. If connections contain all the information about spacetime, then maybe we can represent spacetime with these connections instead of with regular coordinates. In the 1950s Einstein himself tried to rewrite general relativity in terms of these parallel transport vector connections, but the result was a mess. The breakthrough came in the 80s when Abey Ashketar tried a different type of connection: one in which you parallel transport not a vector but something called a spinor - a vector-like

thing that also represents a quantum of angular momentum - or spin. Ashketar rewrote general relativity in terms of these spin-connections - now known as Ashketar variables. In this formalism, the "space of metrics" looks just like a space of fields in quantum field theory. Quantized gravity suddenly looked to be in reach. And now we get to the loops of loop quantum gravity. Lee Smolin and Carlo Rovelli realized they could fully solve the Wheeler-deWitt equation by representing spatial metrics using Ashketar's spin connections. But they needed one more trick - one layer deeper in abstraction. They evaluated these connections over closed loops – so each point connected back to itself. They realized it was possible to define any geometry of 3-D space out of a sort of weave of these closed loops, with each loop like an elementary closed circuit of gravitational field. So now you have a space of loops with which to construct the fabric of space - and that space of loops can be quantized rather neatly, and in a background independent way. After all, there IS no background until these now-quantum loop states build it.

10:01

The result, of course, is loop quantum gravity. It's general relativity – our modern theory of gravity – cast in terms of very abstract building blocks. Not with chunks of spacetime but with quantum circuits of gravitational field. 3-D space can be sort of woven from these loops into something called a **spin-network** - which is a concept too abstract for even this episode. But the resulting 3-D space looks normal on large scales - it looks like space. But on the tiniest of scales – the Planck scale - it's sort of pixelated. At the nexuses of this weave you have quantized volume elements – irreducible grains of space - connected by quantized area faces like facets. But even that description is too space-like - probably the underlying weave of the fabric of space doesn't resemble anything intuitive at all. The big success of loop quantum

(02)- nyní se zaměříme na nezávislost na pozadí. Rovnice kvantové mechaniky vám umožňují vypočítat měnící se vlastnosti částice - jako je její poloha nebo hybnost - vzhledem k systému souřadnic pozadí. Rovnice obecné teorie relativity umožňují vypočítat měnící se tvar samotného souřadnicového systému, zapouzdřeného v metrice. **Jsem tu vedle. Matematiku neumím...** Takže možná místo přemýšlení o kvantové neostrosti polohy a hybnosti můžeme přemýšlet o kvantové neostrosti metriky samotné. $\Delta x \cdot \Delta(m \cdot v)$ A místo rovnice, která popisuje kvantový vývoj vlastností objektu v časoprostoru, možná existuje rovnice, která popisuje **kvantový vývoj geometrie prostoru**. **Pokud to dobře chápu, mělo by docházet ve vesmíru k proměně-přeměně „geometrického chaosu dimenzí“ (vřící pěna) na uchopitelnou neproblemovou parabolu...** No, existuje - nebo alespoň pokus o jeden.

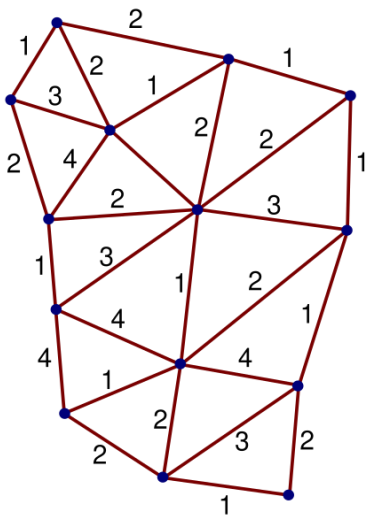
6:01

Říká se tomu **Wheeler-deWittova rovnice**, založená na něčem, co se nazývá formalismus ADM. ADM začíná definováním tohoto abstraktního prostoru prostorů – 3-D prostorové metriky, 3-D prostorové řezy vystřižené ze 4-D prostoročasu. To pak dává jakousi pohybovou rovnici pro to, jak se tyto metriky vyvíjejí v čase. Můžete si představit funky souřadnicový systém popisující, kde se nacházíte v tomto abstraktním prostoru metrik. Jak se pohybujete tímto souřadnicovým systémem, geometrie prostoru se mění. Můžete si také představit analogie pozice a hybnosti v tomto prostoru metrik. Takže Wheeler-deWittova rovnice je kvantuje - převádí je na kvantové operátory. Výsledkem je kvantová rovnice pro strukturu prostoru. Uchazež o teorii kvantové gravitace. Wheeler-deWittova rovnice byla slibná, ale ukázala se jako ... **neřešitelná**. Díky tomu není tak užitečné a nelze jej ověřit jako správné.

Možná je tedy celá tato cesta používání **abstraktních souřadnic** slepou uličkou, nebo jsme ji možná nezašli dostatečně daleko. **To je to, co dělá smyčková kvantová gravitace – vezme nás dolů abstrakci králičí norou – přes náš prostor metrik do prostoru něčeho, čemu se říká spojení.** A tato spojení nám poskytnou **naše** smyčky.?? Spojení jsou matematické funkce, které vám řeknou, jak se něco, například vektor, mění, když se pohybuje mezi dvěma body v prostoru. Příklad jsme viděli v době, kdy jsme se dívali na paralelní dopravu. Když pohybujete základnou vektoru po cestě v zakřiveném prostoru, vektor se otáčí. A míra rotace zakóduje informace o změnách geometrie podél cesty.?? Pokud spoje obsahují všechny informace o časoprostoru, možná je můžeme reprezentovat těmito spoji místo s běžnými souřadnicemi. V padesátých letech se **sám Einstein pokusil přepsat obecnou relativitu v podmínkách těchto paralelních transportních vektorových spojení, ale výsledkem byl nepořádek.** Průlom nastal v 80. letech, kdy **Abey Ashketar** zkusil jiný typ spojení: takový, ve kterém paralelně **nepřenášíte vektor, ale něco, čemu se říká spinor** – věc podobná vektoru, která také představuje **kvantum momentu hybnosti – neboli spin.** Ashketar přepsal obecnou relativitu z hlediska těchto spinových spojení – nyní známých jako Ashketarské proměnné. V tomto formalismu vypadá „prostor metrik“ stejně jako prostor polí v kvantové teorii pole. Kvantovaná gravitace se náhle zdála být na dosah. A nyní se dostáváme ke smyčkám smyčkové kvantové gravitace. **Lee Smolin a Carlo Rovelli** si uvědomili, že mohou plně vyřešit **Wheeler-deWittovu** rovnici reprezentací prostorových metrik pomocí Ashketarových spinových spojení. Potřebovali ale ještě jeden trik – jednu vrstvu hlubší v abstrakci. Tato spojení vyhodnocovali přes uzavřené smyčky – takže **každý bod se připojil zpět k sobě.** **Uvědomili si, že je možné definovat jakoukoli geometrii 3-D prostoru z jakési vazby těchto uzavřených smyček, přičemž každá smyčka je jako elementární uzavřený okruh gravitačního pole.** Takže nyní máte prostor smyček, se kterými můžete konstruovat strukturu prostoru - a tento prostor smyček lze kvantovat poměrně úhledně a způsobem nezávislým na pozadí. Koneckonců, neexistuje žádné pozadí, dokud to tyto stavy kvantové smyčky nevybudují.

10:01

Výsledkem je samozřejmě **smyčková kvantová gravitace.** **Nevěděl jsem o LQG nic a teď už vím o 10% víc ☺** Je to obecná teorie relativity – naše moderní teorie gravitace – **vytvořená z hlediska velmi abstraktních stavebních bloků.** Ne s kusy časoprostoru, ale s kvantovými **obvody gravitačního pole.** **3-D prostor** může být z **těchto smyček** **vetkán** do něčeho, čemu se říká **spin-network**



– což je koncept **příliš abstraktní** i pro tuto epizodu. Ale výsledný 3D prostor vypadá ve velkých měřítkách normálně – vypadá jako prostor. Ale na

nejmenším měřítku - Planckově měřítku - je to trochu pixelované. **Ano, je to ještě reálnější, protože ona „pixelová zrnka“ jsou „balíčky“ dimenzí, balíčky z dimenzí a pak v tomto tvaru to jsou přímo elementární částice hmoty (kvarky, leptony, pak bozony, pak mezony, baryony, a pak atomy, a molekuly, a sloučeniny jednoduché a pak složitější jako chemické, pak biologické a končí to u DNA. To vše jsou „balíčky a superbalíčky“ dimenzí dvou veličin).** <https://www.hypothesis-of-universe.com/index.php?nav=e> ; https://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g_041.pdf ; Na spojnicích této vazby máte kvantované objemové prvky – **neredukovatelná zrnka prostoru** – spojená kvantovanými plochami jako fasetami. **Zrnka prostoru jsou svinuté balíčky dimenzí...** Ale i tento popis je příliš vesmírný - pravděpodobně základní vazba látky vesmíru nepřipomíná vůbec nic intuitivního. **Jo, jo jste 40 let pozadu.** Velký úspěch **smyčkového kvanta** **tady máte příklad „smyčkového kvanta“:** https://www.hypothesis-of-universe.com/docs/eb/eb_011.pdf ; https://www.hypothesis-of-universe.com/docs/eb/eb_008.pdf ; https://www.hypothesis-of-universe.com/docs/eb/eb_034.pdf

.....

(03)- gravity is that it manages to combine general relativity and quantum mechanics in their currently accepted forms, without taking away their most important foundational principles. And without adding big assumptions – like the existence of strings or extra dimensions or supersymmetry. The theory has some other successes, for example, the theory seems to predict Hawking radiation and black hole entropy consistent with Hawking and Bekenstein's equations. However there are also many who identify serious, fundamental issues the theory. While LQG has background independence in terms of different 3-D spatial geometries, it's not actually clear that this independence extends to 4-D spacetime. And connected to this, LQG doesn't solve the problem of time. More generally, for this theory to be successful it needs give you the equations of good old general relativity on large, non-quantum scales - in the so-called classical limit. But it's not clear that it can do that. This is still a hotly debated topic. Some researchers think that the method and foundations are sound and that the current criticisms and shortcomings can be resolved with more research and extensions to the existing formalism. Others argue that the problems are fundamental and that no amount of tinkering and extending will resolve them. A lot more exploration is needed on the theoretical side. But what about experiments? Surprisingly, some experiments have actually been proposed. Loop quantum gravity seems to predict that the speed of light should depend very slightly on the energy of the photon, with, for example, high-energy gamma rays travelling a wee bit slower than low energy radio waves due to the way they propagate through the graininess of a loop quantum gravity spacetime. This was tested in 2009 by looking for differences in the arrival time of light from a gamma ray burst nearly a billion light years away. If there was any difference it was barely measurable, and that doesn't look great for loop quantum gravity. Loop quantum gravity is an intriguing alternative to the more popular string theory. Both currently live deep in their respective theoretical rabbit-holes, not yet able to make experimental contact with the real universe. But the mathematics have yielded intriguing clues to the nature of the fabric of the universe – and that nature is very weird. One way or another, we live in a seriously loopy space time. As always, a huge thanks to our Patreon contributors. Your help makes an enormous difference. Today I want to give an extra special thanks to David Barnholdt, a new Big Bang level supporter. David, we already spent all of your money ... on aspirin, after loop quantum gravity broke our brains. Honestly, we can't thank you enough. Though it does still hurt a bit. Now, last time we talked about Black Hole Harmonics,

let's see what you had to say. David Bennack likes the idea of gravitational lensing of gravitational waves. Well so do I, David. But first the context: this year LIGO detected two black hole merger signals within 20 minutes of each other and in similar patches of the sky. Now, it's really really really hard to come up with a scenario for two actual black hole pairs to colliding at the same time in the same general location. An alternative possibility is that it was just one black hole merger, but the gravitational wave from it was deflected by a galaxy or something on its way to us - it was gravitationally lensed so as to arrive via two separate paths through space. If those paths were different lengths we'd see the same signal separated by a small time delay. We do see this effect in the light from gravitationally lensed quasars and supernovae. Gravitational waves should be lensed in the same way as light, so it's a plausible explanation. But in the case of this particular example it's not really the favored explanation - the signals don't look like they were from quite the same location after all, and they were different enough not to have been the same source. Still, we'll probably see a lensed gravitational wave at some point. I talked about the maximum rate of spin of a black hole, and so Lucas rightly asks how fast is that maximum rate? So there's a limit to the rotation of a black hole which comes from the fact that the outward centrifugal force of rotation partially counters the gravitational attraction - if you'll forgive my crude Newtonian speak. If the black hole rotates more than a certain amount then the event horizon evaporates, exposing the singularity to the universe - or in the case of a rotating black hole, an infinite

16:01

density ring. Such naked singularities are expected to be impossible, and so we expect a maximum rotation rate for black holes. The details of all this need their own episode, so I'll

.....

(03)- gravitace spočívá v tom, že dokáže spojit obecnou relativitu a kvantovou mechaniku v jejich aktuálně přijímaných formách, aniž by jim vzala jejich nejdůležitější základní principy. A to bez přidávání velkých předpokladů – jako je existence strun nebo extra dimenze nebo supersymetrie. Tato teorie má některé další úspěchy, například se zdá, že teorie předpovídá Hawkingovo záření a entropii černých děr v souladu s Hawkingovými a Bekensteinovými rovnicemi. Existuje však také mnoho těch, kteří identifikují vážné, základní problémy teorie. Zatímco LQG má nezávislost na pozadí, pokud jde o různé 3D prostorové geometrie, není ve skutečnosti jasné, že se tato nezávislost vztahuje i na 4D prostoročas. A v souvislosti s tím LQG neřeší problém času. Obecněji řečeno, aby byla tato teorie úspěšná, potřebuje vám dát rovnice staré dobré obecné teorie relativity na velkých, nekvantových měřítcích – v takzvané klasické limitě. Ale není jasné, že to dokáže. Toto je stále velmi diskutované téma. Někteří badatelé se domnívají, že metoda a základy jsou zdravé a že současné výtky a nedostatky lze vyřešit dalším výzkumem a rozšířením stávajícího formalismu. Jiní tvrdí, že problémy jsou zásadní a že žádné šťouchání a rozšiřování je nevyřeší. Po teoretické stránce je zapotřebí mnohem více průzkumu. Ale co experimenty? Překvapivě byly skutečně navrženy některé experimenty. Zdá se, že smyčková kvantová gravitace předpovídá, že rychlost světla by měla velmi mírně záviset na energii fotonu, přičemž například vysokoenergetické gama paprsky se šíří o něco pomaleji než nízkoenergetické rádiové vlny kvůli způsobu, jakým se šíří fotonu. Zrnitost smyčky kvantová gravitace prostoročas. To bylo testováno v roce 2009 při hledání rozdílů v době příchodu světla z gama záblesku vzdáleného téměř miliardu světelných let. Pokud tam byl nějaký rozdíl, bylo to sotva měřitelné, a to nevypadá skvěle pro smyčkovou kvantovou gravitaci. Smyčková kvantová gravitace je zajímavou **alternativou** k populárnější teorii strun. **HDV není alternativou? ...** Oba v současné době žijí hluboko ve svých

teoretických králičích norách a zatím nejsou schopni experimentálně navázat kontakt se skutečným vesmírem. Ale matematika poskytla zajímavá vodítka k povaze struktury vesmíru – a ta příroda je velmi zvláštní. Tak či onak, žijeme ve vážně zacykleném časoprostoru. Jako vždy obrovské díky našim přispěvatelům Patreonu. Vaše pomoc znamená obrovský rozdíl. Dnes chci zvlášť poděkovat Davidu Barnholdtovi, novému podporovateli na úrovni velkého třesku. Davide, už jsme utratili všechny tvé peníze ... za aspirin, poté, co nám kvantová gravitace zlomila mozek. Upřímně, nemůžeme vám dostatečně poděkovat. I když to pořád trochu bolí. Teď, když jsme minule mluvili o Black Hole Harmonics, podívejme se, co jsi řekl. Davidu Bennackovi se líbí myšlenka gravitační čočky gravitačních vln. Já taky, Davide. Nejprve však kontext: letos LIGO detekovalo dva signály sloučení černých děr ve vzdálenosti 20 minut od sebe a na podobných místech na obloze. Nyní je opravdu opravdu těžké přijít se scénářem, kdy by se dva skutečné páry černých děr srazily ve stejnou dobu ve stejném obecném místě. Alternativní možností je, že to byla jen jedna sloučení černé díry, ale gravitační vlna z ní byla na cestě k nám odkloněna galaxií nebo něčím podobným - byla gravitačně čočkována tak, aby dorazila dvěma oddělenými cestami vesmírem. Pokud by tyto cesty byly různé délky, viděli bychom stejný signál oddělený malým časovým zpožděním. Tento efekt vidíme ve světle z gravitačně čočkových kvasarů a supernov. Gravitační vlny by měly být čočkovány stejným způsobem jako světlo, takže je to přijatelné vysvětlení. Ale v případě tohoto konkrétního příkladu to ve skutečnosti není oblíbené vysvětlení - signály nakonec nevypadají, jako by byly z úplně stejného místa, a byly natolik odlišné, aby nebyly stejným zdrojem. Přesto pravděpodobně v určitém okamžiku uvidíme čočkovou gravitační vlnu. Mluvil jsem o maximální rychlosti otáčení zadní díry, a tak se Lucas správně ptá, jak rychlá je tato maximální rychlost? Takže existuje omezení rotace černé díry, které pochází ze skutečnosti, že vnější odstředivá rotační síla částečně působí proti gravitační přitažlivosti - pokud mi odpustíte moje hrubé newtonovské řeči. Pokud se černá díra otáčí o více než určitou hodnotu, pak se horizont událostí vypaří a odkryje singularitu vesmíru – nebo v případě rotující černé díry nekonečno. 16:01 hustotní kroužek. Očekává se, že takové nahé singularity jsou nemožné, a proto očekáváme maximální rychlost rotace pro černé díry. Podrobnosti toho všeho potřebují svou vlastní epizodu, takže já

.....

(04)- leave it at that. A few of you asked a really on-point question: if the fabric of space and time can be stretched and if can have waves, that means it must have a sort of elasticity and resistance to stretching. So just how resilient is the fabric of spacetime? Well, the answer lies in the Einstein field equation of general relativity That equation says that the amount stretching of spacetime is proportional to the mass and and energy contained by that spacetime. The constant of proportionality can be thought of as the tensile strength of space - the resistance to stretching. The smaller the number, the more energy is needed to stretch spacetime. And that constant is very, very small - 2×10^{-43} . Spacetime is a very, very stiff fabric. A few of you noticed we missed a huge opportunity by not calling quasinormal modes quasimodos. Especially given that I kept saying a struck black hole rings like a bell.

17:12

I had a hunch someone would notice that. Notre Damn.

.....

(04)- nechte to být. Několik z vás si položilo skutečně věcnou otázku: může-li být tkanina prostoru a času napnuta a zda může mít vlny, znamená to, že musí mít určitou pružnost a

odolnost vůči roztahování. Jak moc je tedy struktura časoprostoru odolná? Odpověď spočívá v rovnici Einsteinova pole obecné teorie relativity. Tato rovnice říká, že velikost roztažení časoprostoru je úměrná hmotnosti a energii obsažené v tomto časoprostoru. Konstantu úměrnosti lze chápat jako pevnost v tahu prostoru - odolnost proti natažení. Čím menší číslo, tím více energie je potřeba k natažení časoprostoru. A ta konstanta je velmi, velmi malá - 2×10^{-43} . Spacetime je velmi, velmi tuhá látka. Několik z vás si všimlo, že jsme propásli obrovskou příležitostí tím, že jsme nenazvali kvazinonormální režimy kvazimodos. Zvláště vzhledem k tomu, že jsem pořád říkal, že zasažená černá díra zvoní jako zvon. 17:12 Měl jsem tušení, že si toho někdo všimne. Notre Damn.

.....
JN, 31.12.2024

Smyčková kvantová gravitace se snaží kvantovat obecnou relativitu bez připojených řetězců