

<https://www.youtube.com/watch?v=RIqVnFtOSr4>

Space-Time: The Biggest Problem in Physics

Časoprostor: Největší problém ve fyzice

169 266 zhlédnutí Premiéra: 25. 9. 2024 Já otevřel 01.10.2024

0:02

(01)- This is the Planck length. It's a trillion trillion times smaller than an atom. It's also the biggest problem in physics. Because when we try to ponder what's happening near 10^{-33} centimeters, the laws of nature break down. The stage of our universe – space-time – seems to dissolve, and we can't make sense of the awful chaos underneath. Decades of investigations have converged on a haunting conclusion: Our best descriptions of nature, quantum mechanics and general relativity, are failing us. To dig into the deepest layers of reality, we're going to need new physics. In this video, we'll build the stage of space-time from the ground up. And then we'll see how we have no choice but to tear it all down again. And in the wreckage, we'll look for clues to paths forward – towards a quantum theory of gravity. During our journey, we'll be forced to challenge our basic assumptions. Is space-time real, or simply a large-scale illusion? At the fundamental level of nature, do questions like “where?” and “when?” even have answers?

Descartes and Newton investigate space and time

In 1637, the French mathematician Rene Descartes imagined a hidden mathematical framework for space. He invented the Cartesian grid, which labels points in space using x -, y -, and z - coordinates. He thought of this grid as the backdrop of our stage of reality. A few decades later, Isaac Newton described time in a similar way, as an absolute and rigid part of the stage. But for Descartes and Newton, space and time existed independently of each other. Then, in 1905, Albert Einstein entered the scene with his theory of special relativity.

Einstein's special relativity

Einstein's first revelation was that time is relative: an observer's measurement of the time between events depends on their motion in space. This was a clue that we should think of space and time as a single entity: the physical fabric of our universe, with three dimensions of space and a fourth of time.

The geometry of space-time and the manifold

With this picture of space-time as a unified continuum, Einstein began to wonder about its shape. To get a sense for the mathematical model of space-time, let's begin with one flat grid. Now, let's take another one, and another, and another. When we stitch them together, we create a mathematical object called a manifold. Let's imagine we're a cat walking on the surface of this manifold. Locally, the grid looks flat, with straight-line coordinate axes everywhere. But if we zoom out, the manifold turns out to be made up of curved coordinate axes.

Einstein's general relativity: space-time in four dimensions

Einstein's big revelation, in his general theory of relativity, is that space-time is a manifold that bends and curves in the presence of matter or energy. The effects of this curvature produce what we experience as gravity.

The mathematical curvature of space-time

To measure this curvature, let's return to our flat space. Thanks to Pythagoras, we know that if you have a triangle with sides x and y and diagonal s , then $s^2 = x^2 + y^2$. Now, suppose you make the triangle really small, and call the displacements in the x and y directions along the two sides dx and dy . Then the diagonal ds satisfies this formula. But this is also simply the distance between the endpoints of the diagonal. So we can think of this formula as giving us a ruler for 2D space. What happens when we put these coordinates on a rubber sheet and stretch it? They're still separated by the same number of grid spacings, but their physical distances have changed. Now, we need a new ruler that tells us how much stretching and skewing is happening on our manifold. This is the metric: our modified ruler for curved 2D space-time. Einstein expanded on this ruler, creating a metric for how space-time curves in a 4D universe like ours.

Einstein's field equation

To describe the geometry of space-time, you have to calculate where and by how much matter tells our manifold to curve, producing the effects of gravity. This brings us to the crown jewel of general relativity: Einstein's field equation for how the distribution of matter and energy curves space-time. This is the Einstein tensor, which describes the curvature of space-time. It's a function of the metric – our ruler for 4D space-time. This next part accounts for the cosmological constant, which is the energy intrinsic in space. This part is the stress-energy tensor. It describes the energy density, momentum density, and pressures of matter and energy at each location in space. In other words, it tells us where stuff is and how much there is of it. You can think of this equation as matter and energy telling space-time how to bend.

Singularities: where general relativity fails

In a simpler world, this would be the end of physics: an elegant theory of distances in space

.....

(01)- Toto je Planckova délka. Je to bilion bilionkrát menší než atom. Je to také největší problém ve fyzice. Protože **když se snažíme přemýšlet o tom, co se děje v blízkosti 10 až minus 33 centimetrů, přírodní zákony se hrouťí. Zákony se asi nehrouťí, ale hrouťí se „volená velikost jednotek“ ... (pro délku i čas).** Zdá se, že jeviště našeho vesmíru – časoprostor – se rozpouští a my nedokážeme pochopit ten hrozný chaos pod ním. Desetiletí výzkumů dospěla k děsivému závěru: Naše nejlepší popisy přírody, kvantové mechaniky a obecné teorie relativity nám selhávají. **Abychom se dostali do nejhlubších vrstev reality, budeme potřebovat novou fyziku. → HDV.** V tomto videu postavíme jeviště časoprostoru od základů. A pak uvidíme, jak nám nezbyvá nic jiného, než to všechno znovu strhnout. A v troskách budeme hledat vodítka pro cesty vpřed – ke **kvantové teorii gravitace**. Během naší cesty budeme nuceni zpochybnit naše základní předpoklady. Je časoprostor skutečný, nebo je to jen iluze velkého rozsahu? **Ehm .., pokud bychom vůbec měli něco zpochybňovat ve fyzice, pak je to všechno !!! kromě časoprostoru (!)** Na základní úrovni přírody kladou otázky typu „kde?“ a „kdy?“ máte dokonce odpovědi? Descartes a Newton zkoumají prostor a čas V roce 1637 si francouzský matematik René Descartes představil skrytý matematický rámec pro vesmír. Vynalezl kartézskou mřížku, která označuje body v prostoru pomocí **souřadnic x, y, a z.** Uvažoval o této mřížce jako o pozadí naší reality. O několik desetiletí později Isaac Newton popsal čas podobným způsobem jako absolutní a rigidní součást jeviště. Pro Descarta a Newtona však prostor a čas existovaly nezávisle na sobě. Poté, v roce 1905, vstoupil na scénu Albert Einstein se svou teorií speciální relativity. Einsteinova speciální teorie relativity **Prvním Einsteinovým odhalením bylo, že čas je relativní: pozorovatelovo**

měření času mezi událostmi závisí na jejich pohybu v prostoru. To bylo vodítko, že bychom měli uvažovat o prostoru a čase jako o jediné entitě: o fyzické struktuře našeho vesmíru se třemi rozměry prostoru a čtvrtou časem. Geometrie časoprostoru a rozmanitosti S tímto obrazem časoprostoru jako jednotného kontinua začal Einstein přemýšlet o jeho tvaru. Abychom získali smysl pro matematický model časoprostoru, začneme s jednou plochou mřížkou. Nyní si vezměme další a další a další. Když je spojíme dohromady, vytvoříme matematický objekt zvaný **manifold**. Představme si, že jsme kočka kráčeující po povrchu tohoto potrubí. Místně vypadá mřížka plochá, všude jsou rovné souřadnicové osy. Ale pokud oddálíme, ukáže se, že potrubí je tvořeno zakřivenými souřadnými osami. Einsteinova obecná teorie relativity: časoprostor ve čtyřech dimenzích. **Einsteinovo velké odhalení** v jeho obecné teorii relativity je, že časoprostor je rozmanitost, která se ohýbá a zakřivuje v přítomnosti **hmoty nebo energie**. (*) **Já jsem zase odhalil, že křivení dimenzí časoprostoru je hmototvorné, křivením dimenzí vyrábí Vesmír elementární částice hmoty a fyzikální pole...** Účinky tohoto zakřivení vytvářejí to, co zažíváme jako gravitaci.

Matematické zakřivení časoprostoru.

Abychom toto zakřivení změřili, vraťme se do našeho plochého prostoru. **3+3D plochého časoprostoru**. Díky Pythagorovi víme, že pokud máte trojúhelník se stranami x a y a úhlopříčkou s , pak $s^2 = x^2 + y^2$. Nyní předpokládejme, že uděláte trojúhelník opravdu malý a zavoláte posunutí ve směrech x a y podél dvou stran dx a dy . Potom úhlopříčka ds splňuje tento vzorec. Ale to je také jednoduše vzdálenost mezi koncovými body úhlopříčky. Můžeme si tedy myslet, že tento vzorec nám dává pravítko pro 2D prostor. Co se stane, když tyto souřadnice položíme na gumovou plachtu a roztáhneme ji? **Znamená to, že gumová plachta je právě oním plochým 3+3D časoprostorem (néé éterem), ve kterém plavou všechny možné geometrické stavy křivosti těchto dimenzí (pole) jakož i křivosti zabalených dimenzí do balíčků prezentující v křivém poli 3+3D elementární částice. Prostě: fyzikální pole spolu s balíčky zabalených dimenzí coby hmota = elementární částice „plavou“ v nezakřiveném rastru, předivu, síti plochého časoprostoru, který existuje i před big-bangem i po big-bangu.** Stále jsou od sebe odděleny stejným počtem **matematických mřížkových vzdáleností**, mřížkové vzdálenosti časoprostorového rastru jsou volbou „jednotky vzdálenosti“..., lze to vyjádřit i „zápisem“ $c = 1m / 1t$. ale jejich **fyzické vzdálenosti** se změnily. Ano, protože v rastru **$c^3 = x^3 / t^3$** došlo ke křivení dimenzí (natahování anebo smršťování). **Matice rychlostí** http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_486.jpg ; http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_038.jpg ; Nyní potřebujeme nové pravítko, které nám řekne, jak moc se na našem potrubí děje natahování a zkosení. Toto je metrika: naše upravené pravítko pro zakřivený 2D časoprostor. Einstein rozšířil toto pravítko a vytvořil metriku pro to, jak se časoprostor zakřivuje ve 4D vesmíru, jako je ten náš. Einsteinova rovnice pole Chcete-li popsat geometrii časoprostoru, musíte vypočítat, kde a o kolik hmota říká našemu rozdělovači, aby se zakřivil, čímž se vytvoří účinky gravitace. To nás přivádí ke korunovačnímu klenotu obecné teorie relativity: Einsteinově rovnici pole pro to, jak distribuce hmoty a energie zakřivuje časoprostor. Jedná se o Einsteinův tenzor, který popisuje zakřivení časoprostoru. Je to funkce metriky – našeho pravítka pro 4D časoprostor. Tato další část odpovídá za kosmologickou konstantu, což je energie vlastní v prostoru. Tato část je tenzor napětí-energie. Popisuje hustotu energie, hustotu hybnosti a tlaky hmoty a energie v každém místě ve vesmíru. Jinými slovy, říká nám, kde věci jsou a kolik jich je. Tuto rovnici si můžete představit jako hmotu a energii, která říká časoprostoru, jak se ohýbat. Singularity:

kde obecná teorie relativity selhává V jednodušším světě by to byl konec fyziky: elegantní teorie vzdáleností ve vesmíru

(02)- and time, described geometrically by the manifold. But buried in Einstein's blueprints are places where the theory describes its own demise. In places called singularities, such as at the moment of the Big Bang and at the center of black holes, matter becomes so dense that it squeezes infinitely – forcing space-time to curve infinitely, too. In physics, when you encounter infinities in your equations, it's a signal they've broken down. So we have to conclude that general relativity fails to describe physics at these singularities.

Quantum mechanics (amplitudes, entanglement, Schrödinger equation)

Einstein's theory is also ignorant of physics at the subatomic level, where particles are too light to noticeably curve space-time and physics is quantum mechanical. To investigate space-time at the fundamental level – to really start to ask questions about what it's made of – we need to look at it from a quantum point of view. This is the quantum stage. In this probabilistic universe, subatomic particles don't have fixed positions in space. Instead, they have "amplitudes." Amplitudes are like probabilities. But unlike probabilities, they can be complex numbers, which means that amplitudes can cancel each other out. Quantum mechanics says that to go from here to there, a particle can take many different paths, each with an amplitude. These amplitudes must be summed up to find the total amplitude of that transition. So, on our quantum stage, physics is not described by saying where things are and how they move, but how amplitudes for different possibilities change over time. This evolution is described by the famous Schrodinger equation. And then there's quantum entanglement. When two particles are entangled, their amplitudes become contingent. If you measure either particle, the outcome is uncertain, but, if you measure one, it appears to collapse the state of the other, so that the outcome of the second measurement is suddenly completely determined.

The problem of quantum gravity

Ever since physicists realized that quantum mechanics is the underlying language of our universe, we've been trying to fit everything we know about nature into its strange laws. The result of these efforts is Quantum Field Theory, a more sophisticated version of quantum mechanics. It's the framework that allows us to apply quantum principles, or "quantize," all of the matter and force fields that fill the universe – except one – gravity. That's because in all quantum field theories, the matter and force fields are described as lying on top of a smooth, fixed, continuous grid of space-time – the special relativity stage. But to describe gravity, we have to quantize the space-time stage itself. How are we supposed to do this, without a stage to stand on? This is the problem of quantum gravity. It brings us to the edge of our understanding of physical reality – to the end of space-time as we know it.

Applying quantum mechanics to our manifold

Let's see what happens when we apply quantum mechanics directly to our manifold. Just like particles, the manifold should behave quantumly. This means it can't be fixed. It must have a probability of being in many different states. There is even some probability for space-time to start shredding itself, resulting in an awful soup of quantum uncertainty, where bits of spacetime pop in and out of existence. All of this happens at the Planck length, because here, gravity is quantum. At these short distances, the notions of "here" and "there" become

murky. If we try to place coordinates on our manifold, they quickly lose meaning. Our metric dissolves in the chaos of quantum uncertainty.

Why particle accelerators can't test quantum gravity

In the quest to understand what happens at very small distances, experimental physicists have built powerful particle accelerators. Today, the Large Hadron Collider at CERN can probe physics at 10-17 cm. But to see what's happening at the Planck length, you'd need a particle collider 1,000-trillion-times more powerful – one about as big as our entire Milky Way galaxy. And even if we could build one, the collisions it would produce would put so much energy into such a tiny region of space that the region would collapse into a black hole. There's simply no operational way of probing space-time below this length. That suggests that space-time below the Planck length doesn't have meaning.

Is there something deeper than space-time?

Something deeper is happening here. We might be tempted to ask: What if space-time isn't the base layer of reality? What if there is a more fundamental description of physics that produces what looks like space-time?

Hawking and Bekenstein discover black holes have entropy

In the 1970s, Jacob Bekenstein and Stephen Hawking stumbled on a compelling clue about

.....

(02)- a čas, popsaný geometricky různou. Ale v Einsteinových plánech jsou pohřbena místa, kde teorie popisuje svůj vlastní zánik. V místech zvaných singularity, jako například v okamžiku velkého třesku a v centru černých děr, hmota zhustne tak, že se nekonečně stlačuje – a nutí i **3+3D** časoprostor, aby se nekonečně zakřivoval. Když ve fyzice narazíte na nekonečna ve svých rovnicích, je to signál, že se rozpadly. Musíme tedy dojít k závěru, že obecná teorie relativity nedokáže popsat fyziku na těchto singularitách. **Jistě. Big-bang není singularita a singularita není big-bang... Big-bang je lokalita křivých dimenzí, které „plavou“ ve vesmíru před BB, a tato lokalita se stane „naším Vesmírem“... při rozbalování těch nekonečně (matematicky nekonečně) křivých dimenzích.** Kvantová mechanika (amplitudy, zapletení, Schrödingerova rovnice) Einsteinova teorie také nezná fyziku na subatomární úrovni, kde jsou částice příliš lehké na to, aby zřetelně zakřivila časoprostor, a fyzika je kvantově mechanická. **Abychom prozkoumali časoprostor na základní úrovni – bychom si skutečně začali klást otázky o tom, z čeho se skládá – musíme se na něj podívat z kvantového hlediska.** Na makroúrovni bude časoprostor hladký a spojitý a na mikroúrovni bude časoprostor kvantovaný, což znamená, že bude pokroucený, bude „balíčkový“, což se projeví jako nespojitost dimenzí... nespojitost nevylučuje výrobu balíčků, které budou prezentovat elementární částice s vlastnostmi hmoty. Toto je kvantová fáze. V tomto pravděpodobnostním vesmíru nemají subatomární částice pevné pozice v prostoru. Místo toho mají „amplitudy.“ Amplitudy jsou jako pravděpodobnosti. Ale na rozdíl od pravděpodobností to mohou být komplexní čísla, což znamená, že se amplitudy mohou navzájem rušit. Kvantová mechanika říká, že aby se částice dostala odsud tam, může trvat mnoho různých dráhy, každá s amplitudou. Tyto amplitudy je nutné sečíst, abychom našli celkovou amplitudu tohoto přechodu. Takže na našem kvantovém jevišti se fyzika nepopisuje tím, kde se věci nacházejí a jak se pohybují, ale jak se mění amplitudy pro různé možnosti. V průběhu času je tento vývoj popsán slavnou Schrodingerovou rovnicí a pak je tu kvantové zapletení, když se propletou dvě částice, jejich amplitudy se stanou závislými ke zhroucení stavu druhého, takže **výsledek druhého měření je náhle zcela určen.**

Problém kvantové gravitace.

Od té doby, co si fyzici uvědomili, že kvantová mechanika je základním jazykem našeho vesmíru, snažíme se vše, co víme o přírodě, vměstnat do jejích podivných zákonů. **Výsledkem těchto snah je kvantová teorie pole**, sofistikovanější verze kvantové mechaniky. Je to rámec, který nám umožňuje **aplikovat kvantové principy neboli „kvantovat“ veškerou hmotu balíčkovat dimenze, čímž se „vynoří“ v poli elementy s vlastnostmi typicky potřebnými pro hmotu...** a silová pole, která vyplňují vesmír – kromě jednoho – gravitaci. **Je to proto, že ve všech kvantových teoriích pole jsou hmota a silová pole popisována jako ležící na hladké, pevné, souvislé mřížce časoprostoru – ve fázi speciální relativity. Ale abychom popsali gravitaci, musíme kvantovat samotné časoprostorové stadium.** Jak to máme udělat, když nemáme **pódium**, na kterém bychom mohli stát? **To pódium máme, je to 3+3 dimenzionální plochý (nekřivý) časoprostor... ve kterém „plavou“ stavy hladkých křivostí jakožto gravitace.** Stavy „kvantových křivostí“ jsou pak pole se strukturou lineárních interakcí v mikrosvětě na planckovských škálách. Gravitace je přechodový (geometrický) stav mezi hladkým (nekřivým) prostředím 3+3D časoprostoru a stavem nehladkým tj. kvantovaných interakcí v mikrosvětě. **Nevím přesně, jak bych to sptávně popsal.** To je problém kvantové gravitace. Přivádí nás na okraj našeho chápání fyzické reality – na konec časoprostoru, jak ho známe. Aplikování kvantové mechaniky na náš různý druh. Podívejme se, co se stane, když aplikujeme kvantovou mechaniku přímo na naše potrubí. Stejně jako částice by se manifold měl chovat kvantově. To znamená, že to nelze opravit. Musí mít pravděpodobnost, že bude v mnoha různých stavech. **Existuje dokonce určitá pravděpodobnost, že se časoprostor začne drtit, což má za následek hroznou polévku kvantové nejistoty, kde kousky časoprostoru vyskakují a zanikají.** **To vše se děje na Planckově délce, protože zde je gravitace kvantová.** **Myslím, že v mém výkladu je někde chyba, ale také že je chyba i v tomto popisu >zde na papíře<** Na těchto krátkých vzdálenostech se pojmy „tady“ a „tam“ stávají nejasnými. **Toto kmitání „jednotkových intervalů“ nebude jen v oblasti délek, ale i v oblasti časů. I času tu bude kmitat na pojmech „tady“ a „tam“...** Pokud se pokusíme umístit souřadnice na naše potrubí, rychle ztratí význam. **Naše metrika se rozpouští v chaosu kvantové nejistoty.** Proč urychlovače částic nemohou testovat kvantovou gravitaci. Ve snaze porozumět tomu, co se děje na velmi malých vzdálenostech, sestrojili experimentální fyzikové výkonné urychlovače částic. Dnes může Velký hadronový urychlovač v CERNu sondovat fyziku na 10^{-17} cm. Ale abyste viděli, co se děje na Planckově délce, potřebovali byste urychlovač částic 1 000 bilionkrát výkonnější – takový, jaký je přibližně stejně velký jako celá naše galaxie - Mléčná dráha. A i kdybychom jej dokázali postavit, kolize, které by vyvolal, by vložily tolik energie do tak malé oblasti vesmíru, že by se oblast zhroutila do černé díry. Jednoduše neexistuje žádný operační způsob, jak sondovat časoprostor pod touto délkou. To naznačuje, že časoprostor pod Planckovou délkou nemá význam. **Existuje něco hlubšího než časoprostor? Tady se děje něco hlubšího. Můžeme být v pokušení zeptat se: Co když časoprostor není základní vrstvou reality? Co když existuje zásadnější popis fyziky, který vytváří to, co vypadá jako časoprostor?** Hawking a Bekenstein objevili, že černé díry mají entropii V 70. letech minulého století Jacob Bekenstein a Stephen Hawking narazili na přesvědčivé vodítko o

.....

(03)- the nature of quantum gravity. To appreciate the profound implications of what they discovered, we need to first review the laws of thermodynamics and their origin in statistical physics. Suppose you have a system with large numbers of atoms or molecules and macroscopic properties, like temperature. The entropy of such a system measures the

number of different possible molecular arrangements, or microstates, that produce a macroscopic system at this temperature. While using the equations of general relativity to explore black holes, Bekenstein and Hawking discovered that black holes act as if they have an entropy, and that quantum mechanics causes them to radiate particles in a particular way that gives them a temperature. But black holes, like everything else, need to comply with the laws of thermodynamics. So if black holes have an entropy, they must be made of more primitive parts: quantum micro-states that can be thought of as the “atoms” of space-time. Usually, the entropy of a system is related to its volume, because it depends on how many ways you can arrange all the microstates inside. But Bekenstein and Hawking showed that with black holes, something surprising happens: a black hole’s entropy is proportional to its area – more specifically, the area of its event horizon, or boundary. It’s as if we can know all of the possible microstates of a black hole’s interior structure just by counting the ways of arranging things on its surface. But how could a surface know everything about an interior volume? This strange finding is the best clue we have about the quantum nature of space-time.

The holographic principle

If a 3D object like a black hole is best understood using only two dimensions, could the same be true for the entire universe? In the 1990s, these questions coalesced into a compelling idea called the holographic principle. The holographic principle says that space-time is like a hologram “projected” from the information available on some lower-dimensional surface like the boundary of the universe. On the holographic stage, the fabric of our reality – space-time and gravity – actually emerges from a quantum description in a lower dimension. If the holographic principle is true, the math describing gravity and the geometry of spacetime should be equivalent to the math of quantum physics in a space of one fewer dimension.

AdS/CFT duality

In the last few decades, physicists have searched for these mathematical equivalences with the goal of creating a dictionary of physics that bridges the dual descriptions. The best example so far is something called the AdS/CFT duality. This (CFT) is a well-understood quantum theory known as a conformal field theory, or CFT. It has no gravity in it. Let’s consider a CFT in two spatial dimensions, and of course time. This is a kind of space-time permitted in general relativity known as anti-de Sitter space, or AdS. It has gravity. Let’s consider an AdS space with three spatial dimensions, and time. The AdS/CFT duality is a dictionary that relates the math of the two theories. You can use it to calculate anything in one theory in the language of the other. We might describe this situation by saying that the AdS spacetime is “emergent” from the CFT, because some of its dimensions appear out of the dynamics of the lower-dimensional CFT.

Space-time may emerge from entanglement

But if space-time is emergent, what are the quantum processes that produce it? Here, AdS/CFT gives us a compelling hint. The AdS space-time geometry, along with Einstein’s equations of general relativity, emerge from entanglement – a sort of quantum inseparability between the states of the particles of the CFT. The idea is that if two things are entangled in one description, they become physically connected in the other. So, at the deepest level of reality, it’s possible that quantum entanglement is knitting space-time together in this way, giving rise to the geometry of the space-time manifold – and our universe. If space-time is emergent in this way, entanglement doesn’t happen in space-time-- entanglement CREATES space-time. Below the Planck length, it’s entirely possible that the quantum

entanglement knitting spacetime fluctuates wildly. This would mean that things are connecting and disconnecting all the time in such a way that distance as we understand it may cease to exist. Maybe this is why we can't measure distances below the Planck length.

The path to quantum gravity

The holographic principle is one place where we've made lots of progress toward a theory of quantum gravity. There's a catch, though. The AdS universe has a different space-time geometry than our own. So while the AdS/CFT duality is remarkable in its own right, it's not

.....

(03)- povaze kvantové gravitace. Abychom ocenili hluboké důsledky toho, co objevili, musíme si nejprve prohlédnout zákony termodynamiky a jejich původ ve statistické fyzice. Předpokládejme, že máte systém s velkým počtem atomů nebo molekul a makroskopickými vlastnostmi, jako je teplota. Entropie takového systému měří počet různých možných molekulárních uspořádání nebo mikrostavů, které vytvářejí makroskopický systém při této teplotě. Při použití rovnic obecné relativity k průzkumu černých děr Bekenstein a Hawking zjistili, že černé díry se chovají, jako by měly entropii, a že kvantová mechanika způsobuje, že vyzařují částice zvláštním způsobem, který jim dává teplotu. Ale černé díry, stejně jako všechno ostatní, musí splňovat zákony termodynamiky. Pokud tedy mají černé díry entropii, musí se skládat z primitivnějších částí: kvantových mikrostavů, které lze považovat za „atomy“ časoprostoru. Entropie systému obvykle souvisí s jeho objemem, protože záleží na tom, kolika způsoby můžete uvnitř uspořádat všechny mikrostavy. Bekenstein a Hawking však ukázali, že s černými dírami se stane něco překvapivého: entropie černé díry je úměrná její ploše – konkrétněji ploše jejího horizontu událostí neboli hranice. Je to, jako bychom mohli znát všechny možné mikrostavy vnitřní struktury černé díry pouhým počítáním způsobů uspořádání věcí na jejím povrchu. Ale jak mohl povrch vědět všechno o vnitřním objemu? Toto podivné zjištění je nejlepším vodítkem, které máme o kvantové povaze časoprostoru. Holografický princip Pokud je 3D objekt, jako je černá díra, nejlépe pochopitelný pouze pomocí dvou rozměrů, mohlo by totéž platit pro celý vesmír? V 90. letech se tyto otázky spojily do přesvědčivé myšlenky zvané holografický princip. Holografický princip říká, že časoprostor je jako hologram „promítнутý“ z informací dostupných na nějakém povrchu nižší dimenze, jako je hranice vesmíru. Na holografickém jevišti se látka naší reality – časoprostor a gravitace – ve skutečnosti vynořuje z kvantového popisu v nižší dimenzi. Pokud je holografický princip pravdivý, matematika popisující gravitaci a geometrii časoprostoru by měla být ekvivalentní matematice kvantové fyziky v prostoru o jednu dimenzi méně.

Dualita AdS/CFT.

V posledních několika desetiletích fyzici hledali tyto matematické ekvivalence s cílem vytvořit slovník fyziky, který překlenuje duální popisy. Zatím nejlepším příkladem je něco, co se nazývá dualita AdS/CFT. Toto (CFT) je dobře pochopená kvantová teorie, známá jako konformní teorie pole nebo CFT. Nemá v sobě žádnou gravitaci. Uvažujme CFT ve dvou prostorových dimenzích a samozřejmě v čase. Toto je druh časoprostoru povolený v obecné relativitě známý jako anti-de Sitterův prostor nebo AdS. Má gravitaci. Uvažujme reklamní prostor se třemi prostorovými dimenzemi a časem. Dualita AdS/CFT je slovník, který spojuje matematiku obou teorií. Můžete jej použít k výpočtu čehokoli v jedné teorii v jazyce druhém. Tuto situaci bychom mohli popsat tak, že časoprostor AdS je „emergentní“ z CFT, protože některé jeho dimenze se objevují mimo dynamiku CFT s nižší dimenzí. Ze zapletení se může vynořit časoprostor. Ale, pokud se objevuje časoprostor, jaké jsou kvantové procesy, které jej

produkuje? Zde nám AdS/CFT dává přesvědčivý tip. Časoprostorová geometrie AdS spolu s Einsteinovými rovnicemi obecné relativity vycházejí ze zapletení – jakési kvantové neoddělitelnosti mezi stavy částic CFT. **Myšlenka je taková, že pokud se dvě věci zapletou do jednoho popisu, stanou se fyzicky propojeny v druhém. Takže na nejhlubší úrovni reality je možné, že kvantová provázanost spojuje časoprostor tímto způsobem a dává vzniknout geometrii časoprostorové rozmanitosti – a našeho vesmíru. Zatím těmto úvahám rozumím jen „napůl“...** Pokud se časoprostor vynoří tímto způsobem, k zapletení v časoprostoru nedochází – **zapletení VYTVÁŘÍ časoprostor**. Pod Planckovou délkou je zcela možné, že kvantový propletenec pletený časoprostor divoce kolísá. To by znamenalo, že se věci neustále spojují a odpojují takovým způsobem, že vzdálenost, jak ji chápeme, může přestat existovat. Možná to je důvod, proč nemůžeme měřit vzdálenosti pod Planckovou délkou. Cesta ke kvantové gravitaci. Holografický princip je jedním z míst, kde jsme udělali velký pokrok směrem k teorii kvantové gravitace. Má to však háček. Vesmír AdS má jinou geometrii časoprostoru než ten náš. I když je tedy dualita AdS/CFT pozoruhodná sama o sobě, není tomu tak

.....

(04)- proof that we live on a holographic stage. Instead, you can think of it as a toy model of how space-time can emerge from entanglement. To make further progress, we have to find a way to extend these ideas to a model describing our universe with its particular geometry, particles, and peculiarities, like dark energy. Ideally, we should also find a way to test the holographic principle experimentally. That's going to require creative new ideas. To me, space and time are the two of the most fundamental concepts in all of science. The very language we use to describe nature depends on them. So if space and time are emergent -- in some sense "not really there," we have to figure out what replaces these concepts. This is the exciting quest for the next generation. There is

19:06

hardly anything deeper and more inspiring to work on than that.

.....

(04)- důkaz, že žijeme na holografickém jevišti. Místo toho si to můžete představit jako model hračky, jak se časoprostor může vynořit ze zapletení. Abychom dosáhli dalšího pokroku, musíme najít způsob, jak rozšířit tyto myšlenky na model popisující náš vesmír s jeho konkrétní geometrií, částicemi a zvláštnostmi, jako je temná energie. V ideálním případě bychom také měli najít způsob, jak experimentálně otestovat holografický princip. To bude vyžadovat nové kreativní nápady. **Pro mě jsou prostor a čas dva nejzákladnější pojmy v celé vědě. Pro mě taky.** Závisí na nich samotný jazyk, který používáme k popisu přírody. Takže pokud se objeví prostor a čas – v určitém smyslu „tam ve skutečnosti ne“, musíme přijít na to, co tyto koncepty nahradí. Toto je vzrušující pátrání pro příští generaci. Existuje

19:06

sotva něco hlubšího a inspirativnějšího k práci, než toto.

.....

JN, 29.09.2024

.....

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_371.pdf