

<https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.6.4.20190219a/full/>

19 Feb 2019 in [People & History](#)

# Author Q&A: Carlo Rovelli on the physics of time

The theoretical physicist explains why the idea of the present may not be as simple as our brains would have us believe.

**Melinda Baldwin**



[rovelli.carlo@gmail.com](mailto:rovelli.carlo@gmail.com)

Theoretical physicist Carlo Rovelli is best known among physicists for his work on loop quantum gravity, a mathematical theory that quantizes spacetime (see the article by Martin Bojowald, [Physics Today, March 2013, page 35](#)). His broader appeal comes from his book *Seven Brief Lessons on Physics*, which introduced general audiences to the physics of black holes, general relativity, and quantum mechanics.

In his latest book, *The Order of Time*, Rovelli explores what he calls “perhaps the greatest remaining mystery” in physics: the nature of time. “Why do we remember the past and not the future?” he asks. “What does it really mean to say that time ‘passes’? . . . What am I listening to when I listen to the passing of time?”

To answer those questions, Rovelli takes readers on a tour of what physicists know—and what they don’t know—about time. In the February issue of *Physics Today*, cosmologist Anthony Aguirre [calls the book](#) “lovely,

thoughtful, and poetic” and says it “will give all readers a taste of the mysteries of time.”

Teoretický fyzik vysvětluje, proč myšlenka současnosti nemusí být tak jednoduchá, jak by nás naše mozky přesvědčily.

Melinda Baldwin :

Teoretický fyzik Carlo Rovelli je mezi fyziky nejlépe známý svou prací na **smyčkové kvantové gravitaci, matematické teorii, která kvantuje časoprostor** (viz článek Martina Bojowalda, Fyzika dnes, březen 2013, strana 35). Jeho širší přitažlivost pochází z jeho knihy Sedm krátkých lekcí z fyziky, která představila obecnému publiku fyziku černých děr, obecnou relativitu a kvantovou mechaniku. Rovelli ve své nejnovější knize Řád času zkoumá to, co nazývá „možná **největší zbývající záhadou**“ **ve fyzice: povaha času**. "Proč si pamatujeme minulost a ne budoucnost?" ptá se. **"Co to ve skutečnosti znamená říci, že čas 'plyne'?"** . . . Co poslouchám, když poslouchám/slyším plynutí času? “ Aby odpověděl na tyto otázky, Rovelli vezme čtenáře na prohlídku toho, co fyzici vědí - a co neví - o čase. V únorovém čísle **Physics Today** nazval kosmolog Anthony Aguirre knihu „krásnou, promyšlenou a poetickou“ a říká, že „dá všem čtenářům ochutnat tajemství času“.

**PT:** What inspired you to write a book about time?

**ROVELLI:** To work in quantum gravity, one must face questions about the nature of time. General relativity tells us that the amount of time between two events is determined by gravity, and therefore time is affected by the quantum behavior of gravity. There can be quantum superpositions of different temporal states. A clock can be in a quantum superposition of two different times. So I have been thinking about the nature of time and the many problems it raises all through my scientific life. I thought that the moment had arrived to try to connect the dots and write down what I think we do and do not understand about time.

**PT:** In the introduction to your book, you argue that “the growth of our knowledge has led to a slow disintegration of our notion of time.” What are some of the advances or revelations that challenge the idea that time flows neatly from past to present to future?

**ROVELLI:** I cover several in the first part of the book. We have learned that time passes at different rates depending on altitude and on speed. We have learned that the fundamental equations of physics do not distinguish the past from the future. And we have learned that our very strong intuition about the present is valid only in a relatively small bubble around us; there is no objectively defined *present* in the large universe. Those are not speculations. They are established physics.

Then there is the speculative research in quantum gravity that further questions the nature of time. In loop quantum gravity, for example, there is no time variable in the fundamental equations of the theory. The theory describes the relative evolution of physical variables rather than their evolution in time.

**PT:** If the universe is fundamentally atemporal, what do you think explains the phenomenon that humans experience as time? Is time an illusion?

**ROVELLI:** I do not think that the universe is fundamentally atemporal. The main point of the book is that there isn't a single notion of time that is either true or false. What we call *time* is a rich, stratified concept; it has many layers. Some of time's layers apply only at limited scales within limited domains. This does not make them illusions.

For instance, the distinction between up and down is not an illusion, but it has no meaning away from Earth. There is no up and down for astronauts during interplanetary travel. Many properties of time are similar. In particular, there are aspects of our own human experience of time that are very much tied to the specific way our brain works: the fact that we have memories, that we anticipate the future, and so on. It is the human brain, not fundamental physics, that determines what we call the flowing of time and the sense of the speed at which it flows.

**PT:** What is your next project?

**ROVELLI:** I always have too many projects going on at the same time. I am mostly focused on white holes right now. A white hole, like a black hole, is a solution of the Einstein field equations but reversed in time. I am studying the possibility that black holes end their lives by becoming white holes.

The time from the formation of the black hole to its evaporation, transformation into a white hole, and final dissipation can be extremely long as observed from the outside but extremely short as measured from inside the hole. It's an intriguing scenario that I developed with Eugenio Bianchi and colleagues in a [recent paper](#). If that scenario is correct, the black holes we see in the sky are stars that are collapsing and then bouncing out, but we see that in extremely slow motion because of gravitational time dilation.

**PT:** Can white holes be observed?

**ROVELLI:** Yes, perhaps. One hypothesis is that their formation is the cause of fast radio bursts, mysterious super-violent signals captured by radio telescopes. Francesca Vidotto and I recently suggested [another possibility](#) that I find intriguing: that small white holes left over by black holes at the end of evaporation could be stable, and they could form an important component of dark matter.

**PT:** What are you reading right now?

**ROVELLI:** An extraordinary book by Alexander Bogdanov, *Tectology*. Bogdanov was a great Russian intellectual at the beginning of the 20th century. His ideas anticipated aspects of cybernetics, system theory, and contemporary structural realism.

Nyní totéž v češtině →

**PT:** Co vás inspirovalo k napsání knihy o čase?

**ROVELLI:** Aby člověk pracoval v kvantové gravitaci, musí čelit otázkám o povaze času. Obecná relativita nám říká, že doba mezi dvěma událostmi je určena gravitací, a proto je čas ovlivněn kvantovým chováním gravitace. Mohou existovat kvantové superpozice různých časových stavů. Hodiny mohou být v kvantové superpozici dvou různých časů. Celý svůj vědecký život jsem tedy přemýšlel o povaze času a mnoha problémech, které to přináší. Myslel jsem, že nastal okamžik, abychom se pokusili spojit tečky a napsat, co si myslím, že děláme a nerozumím času.

**PT:** V úvodu své knihy tvrdíte, že „růst našich znalostí vedl k pomalému rozpadu naší představy o čase“. Jaké jsou pokroky nebo odhalení, která zpochybňují myšlenku, že čas plyne úhledně z minulosti do současnosti do budoucnosti?

**ROVELLI:** V první části knihy se věnuji několika. Naučili jsme se, že čas plyne různou rychlostí v závislosti na nadmořské výšce a rychlosti. Zjistili jsme, že základní fyzikální rovnice nerozlišují minulost od budoucnosti. A naučili jsme se, že naše velmi silná intuice o současnosti platí pouze v relativně malé bublině kolem nás; ve velkém vesmíru neexistuje žádná objektivně definovaná přítomnost. To nejsou spekulace. Jsou to zavedená fyzika. Pak je tu spekulativní výzkum kvantové gravitace, který dále zpochybňuje povahu času. Například ve smyčkové kvantové gravitaci není v základních rovnicích teorie žádná časová proměnná. Teorie popisuje relativní vývoj fyzikálních proměnných spíše než jejich vývoj v čase.

**PT:** Pokud je vesmír v zásadě současný, co podle vás vysvětluje fenomén, který lidé zažívají jako čas? Je čas iluzí?

**ROVELLI:** Nemyslím si, že vesmír je zásadně současný. Hlavní pointa knihy je, že neexistuje jediný pojem o čase, který by byl pravdivý nebo nepravdivý. To, čemu říkáme čas, je bohatý stratifikovaný koncept; má mnoho vrstev. Některé z časových vrstev platí pouze v omezeném měřítku v rámci omezených domén. To z nich nedělá iluze. Například rozdíl mezi nahoru a dolů není iluzí, ale nemá žádný význam mimo Zemi. Během meziplanetárního cestování není pro astronauty žádný pohyb nahoru a dolů. Mnoho vlastností času je podobných. Zejména existují aspekty naší vlastní lidské zkušenosti s časem, které jsou do značné míry spojeny se specifickým způsobem fungování našeho mozku: skutečnost, že máme vzpomínky, že předvídáme budoucnost atd. Je to lidský mozek, nikoli základní fyzika, která určuje, čemu říkáme plynutí času a smysl rychlosti, kterou plyne.

**PT:** Jaký je váš další projekt?

**ROVELLI:** Vždy probíhá příliš mnoho projektů současně. Právě teď se většinou zaměřuji na bílé díry. Bílá díra, jako černá díra, je řešením Einsteinových polních rovnic, ale obrácená v čase. Studuji možnost, že černé díry ukončí svůj život tím, že se stanou bílými dírami. Doba od vzniku černé díry po její odpaření, transformaci na bílou díru a konečné rozptýlení může být extrémně dlouhá, jak je pozorováno zvenčí, ale extrémně krátká, měřeno zevnitř díry. Je to zajímavý scénář, který jsem vytvořil s Eugeniem Bianchim a kolegy v nedávném článku. Pokud je tento scénář správný, černé díry, které vidíme na obloze, jsou hvězdy, které se hroutí a poté se odrážejí, ale vidíme to extrémně zpomaleně kvůli gravitační dilataci času.

**PT:** Lze pozorovat bílé díry?

**ROVELLI:** Ano, možná. Jedna hypotéza je, že jejich vznik je příčinou rychlých rádiových výbuchů, záhadných super násilných signálů zachycených rádiovými dalekohledy. Francesca Vidotto a já jsme nedávno navrhli další možnost, která mi připadá zajímavá: že malé bílé díry, které by na konci odpařování zůstaly po černých dírách, by mohly být stabilní a mohly by tvořit důležitou součást temné hmoty.

**PT:** Co právě čtete?

**ROVELLI:** Mimořádná kniha Alexandra Bogdanova, Tektologie. Na počátku 20. století byl Bogdanov velkým ruským intelektuálem. Jeho myšlenky předjímaly aspekty kybernetiky, systémové teorie a současného strukturálního realismu.



Carlo Rovelli

#### ABOUT THE AUTHOR

**Carlo Rovelli** is an Italian theoretical physicist, the head of the quantum gravity group at the *Centre de Physique Théorique* of Aix-Marseille Université. He is one of the founders of the loop quantum gravity theory and author of the international bestseller *Seven Brief Lessons on Physics*, *Reality Is Not What It Seems*, and *The Order of Time*. Rovelli lives in Marseille, France.

## About the Author

**Carlo Rovelli** je italský teoretický fyzik, vedoucí skupiny kvantové gravitace v Centre de Physique Théorique v Aix-Marseille Université. Je jedním ze zakladatelů teorie smyčkové kvantové gravitace a autor mezinárodního bestselleru Sedm krátkých lekcí z fyziky, reality není taková, jaká vypadá, a řádu času. Rovelli žije ve francouzském Marseille.

---

Nyní totéž v češtině a k tomu + můj komentář →

**PT:** Co vás inspirovalo k napsání knihy o čase?

**ROVELLI:** Aby člověk pracoval v kvantové gravitaci, musí čelit otázkám o povaze času. Takže...především ČAS je nejméně probádaná „věc“ ze všech „věcí“ na světě, je to nejméně probádaná fyzikální veličina. (( o ní vědí profesoři, jako je Kulhánek, jen to že běží ...víc nic )).

Nejdříve : „co je čas“ ? Čas je fyzikální fenomén tohoto světa, Vesmíru, což je ještě víc než fyzikální veličina - viz : [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c\\_300.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_300.jpg) . Čas - fenomén/veličina má také tři základní dimenze jako prostor, tedy budeme říkat : „časor“ – 3D a „prostor“ – 3D .

Vesmír by bez časoprostoru neměl smysl ..., což je výrok přesně obrácený než ho říká prof. Kulhánek : bez hmoty neexistuje ani časoprostor, hmota prý časoprostor vyrábí.

Pomocí fenoménu „Čas“ a Délka“ staví Velvsmír základní 3+3 mřížku-předevo-sít' → , tedy 3+3D časoprostor, v němž bude náš Vesmír „plavat“. ( Dodnes nikdo nezkoumal zda má Čas-veličina také dimenze, anebo proč je nesmí mít !! ) . Tento základní stav časoprostoru „netečně stojí“, ( coby stav před Třeskem ), není v něm hmota, je ve všem inertní, nekonečný, čas tu neplyne, dimenze délkové se tu nerozpínají . Čas plyne až po Třesku, poté, kdy dojde ke změně stavu toho před Třeskem na stav čp po Třesku.

Stav 3+3D plochý (před Třeskem ) se mění (podle principu o střídání symetrií s asymetriemi) na stav po Třesku, tj. **dojde** na změnu v nekonečném plochém stavu časoprostoru „v konečné lokalitě“ ( říká se jí nedávno singularita ) a v této l o k a l i t ě k „maximálnímu zkřivení dimenzí“ 3+3D časoprostorových ; budeme tuto lokalitu (uprostřed nekonečné plochosti předTřeskové) vnímat jako „náš Vesmír“ a jako první stav bude **pěna dimenzí, stav vřícího vakua = plazma**. Teprve od této chvíle-pozice začne plynout čas, protože se „časová dimenze“ „rozbaluje“, rozbaluje se křivost všech tří časových dimenzí !!!, každá jinak, vyjímečně každá stejně jako právě na Zemi ve stop-stavu „dnes“ ( dtto se rozbaluje prostor ...který se prýyý rozvaluje nejdříve „inflací“ - překotným „rozfouknutím“...;čeho ? „co se rozfoukne a kam ?, prýyý vznikly nové body=intervaly prostoru v „prostorové mřížce“ tím „rozfouknutím. ( ale nevznikly žádné nové intervaly na časových dimenzích ...?!)

Křivá lokalita 3+3D konečná (náš Vesmír) „plave“ v nekřivé síti-mřížce 3+3D nekonečné, poté tady začne rozbalování časových dimenzí a to vnímáme jako tok-plynutí času. Ve stop-stavech od Třesku není všude stejný poměr rozbalených dimenzí délkových ku časovým. To znamená, že „bod“ se v časoprostoru rozbalujícím se posouvá  $v < c$ , tedy  $v^3 < c^3 = 1^3/1^3$  Bod ze zakřiveného čp se posouvá v nezakřivením rastru čp. Lze tedy také říkat, že *čas neplyne nám, ale my-hmotný objekt plyneme jemu, my plyneme = posouváme se po čase – po časové dimenzi* a...a tím ukrajujeme časové intervaly na „stojící“ dimenzi časové...Nikdo zatím neprokázal, že tempo plynutí času je stále stejné od Třesku po dnešek, že je tedy univerzální pro každé místo ve vesmíru. Nikdo neprokázal, že na Zemi platí  $t_1 = t_2 = t_3$  a že i na Zemi může platit  $t_1 = t_2 < t_3$ , ...což se vyazuje běžně v STR kdy dilataje čas jen ve směru pohybu tělesa od nás. ( mimochodem : křivost časových dimenzí  $x / (t_1 \cdot t_2)$  se pak projevuje jako gravitace ).

*3+3D časoprostorová síť (před Třeskem i po Třesku) je plochá a nekonečná . Pak po Třesku v ní plavou a interagují křivé stavy 3+3D → pole a libovolné sestavy hmoty jakožto „propletené“ balíčky ze zamotaných dimenzí čp. Podle mě "dimenze času stojí" ( v té základní mřížce ploché ) a my běžíme "po ní", po časové dimenzi, po délkové dimenzi ...( na fotonu také čas "stojí", tedy foton "letí" stejnou rychlostí jako se rozpíná čp, tedy i čas i prostor vůči fotonu "stojí" jako on stojí vůči čp..atd. atd. Další popisy jsou jinde.*

Obecná relativita nám říká, že doba mezi dvěma událostmi je určena gravitací, a to tady na Zemi. Nejsm si jist zda také v mezihvězdném prostoru nebo mezigalaktickém prostoru je doba-interval mezi dvěma událostmi určena gravitací ???! V každé historické době od Třesku byla totiž gravitace globální jiná-různá a tedy že by také platil takový výrok, že *doba = tempo plynutí času je určeno gravitací* ??? a proto je čas ovlivněn kvantovým chováním gravitace. Mohou existovat kvantové superpozice různých časových stavů. ?? co-co „časové stavy“ jsou něco nezávislého na hmotě a gravitaci a dalších ?.nemělo se tu mluvit o „tempu plynutí času“ ? v různých stavech křivosti časoprostoru a různou hustotou rozložení hmoty-pole ?? Hodiny mohou být v kvantové superpozici dvou různých časů. Hodiny nikoliv – hodiny nejsou „čas“, hodiny je mechanismus, který MUSÍ odtikávat nějaké stejné zvolené intervaly časové **Celý svůj vědecký život jsem tedy přemýšlel** ( i já pane Rovelli ) o povaze času a mnoha problémech, které to přináší. Myslel jsem, že nastal okamžik, abychom se pokusili spojit tečky a napsat, co si myslím, že děláme a nerozumím času.



**PT:** V úvodu své knihy tvrdíte, že „růst našich znalostí vedl k pomalému rozpadu naší představy o čase“. Jaké jsou pokroky nebo odhalení, která zpochybňují myšlenku, že čas plyne úhledně z minulosti do současnosti do budoucnosti? **Žádná odhalení o tom, že čas plyne v tomto sektoru/kvadrantu Vesmíru jinak než z minulosti k budoucnosti, tu nejsou ! (( pouze v mé HDV je předvedena vize i „křivení“ dimenzí (balíčkování) času a to jednou „ve směru toku šipky času a jednou naopak“ .))**

**ROVELLI:** V první části knihy se věnuji několika. Naučili jsme se, že čas plyne různou rychlostí ( **slovíčko „rychlost“ je nevhodné, použijte „tempo“ plynutí času** ) v závislosti na nadmořské výšce a rychlosti. Zjistili jsme, že základní fyzikální rovnice nerozlišují minulost od budoucnosti. A naučili jsme se, že naše velmi silná intuice o současnosti platí pouze v relativně malé bublině kolem nás; ve velkém vesmíru neexistuje žádná objektivně definovaná přítomnost. To nejsou spekulace. Je to zavedená fyzika. Pak je tu spekulativní výzkum kvantové gravitace, který dále **zpochybňuje ??** povahu času. Například ve smyčkové kvantové gravitaci není v základních rovnicích teorie žádná časová proměnná. Teorie popisuje relativní vývoj fyzikálních proměnných spíše než jejich vývoj v čase. **Nedokáži komentovat, nerozumím „kvantové gravitaci“ ( podle mého citění se jedná zřejmě o „narovnání nelinearity gravitace tím že jí „kvantujeme“ ... to by ovšem byl podvod na PRINCIPU ! )**

**PT:** Pokud je vesmír v zásadě současný, co podle vás vysvětluje fenomén, který lidé zažívají jako čas? Je čas iluzí?

**ROVELLI:** Nemyslím si, že vesmír je zásadně současný. **Pozice Pozorovatele je v zásadě „stop-stavem“ a to i v poloze i v toku plynutí času....; a v podstatě v tom „rozbalujícím se prostoru a rozbalujícím se toku plynutí času“ se dá „relativně“ vyhlásit, že „my stojíme a čas plyne kolem nás, anebo dokonce, že čas stojí ( je to dimenze ve stojaté mřížce-předivu-síti 3+3D euklidovského časoprostoru a my plyneme jemu, my se posouváme po „stojaté dimenzi časové a svým posunem ukrajujeme na časové dimenzi intervaly – to pak vnímáme jako „náš čas, naše plynutí času“ . )** Hlavní pointa knihy je, že neexistuje jediný pojem o čase, který by byl pravdivý nebo nepravdivý. **To ovšem se dá říci o celé fyzice a nejen o čase... To, čemu říkáme čas, je** bohatý stratifikovaný **koncept; ??? v očích fyziků, nikoliv v „reál prezentaci Vesmíru“** má mnoho vrstev. Některé z časových **vrstev ??** platí pouze v omezeném měřítku v rámci omezených domén. **„Vrstvy“ si vytvořil v psychice jen člověk** To z nich nedělá iluze. Například rozdíl mezi nahoru a dolů není iluzí, ale nemá žádný význam mimo Zemi. (\*) Během meziplanetárního cestování není pro astronauty žádný pohyb nahoru a dolů. (\*) Mnoho vlastností času je podobných. (\*) Zejména existují aspekty naší vlastní lidské zkušenosti s časem, které jsou do značné míry spojeny se specifickým způsobem fungování našeho mozku: skutečnost, že máme vzpomínky, že předvídáme budoucnost atd. Je to lidský mozek, nikoli základní fyzika, která určuje, čemu říkáme plynutí času a smysl-**směr** rychlosti-**tempa**, kterou plyne. (\*)

**PT:** Jaký je váš další projekt?

**ROVELLI:** Vždy probíhá příliš mnoho projektů současně. Právě teď se většinou zaměřuji na bílé díry. Bílá díra, jako černá díra, je řešením Einsteinových polních rovnic, ale obrácená v čase. Studuji možnost, že černé díry ukončí svůj život tím, že se stanou bílými dírami. Doba od vzniku černé díry po její odpaření, transformaci na bílou díru a konečné rozptýlení může být extrémně dlouhá, jak je pozorováno zvenčí, ale extrémně krátká, měřeno zevnitř díry. Je to zajímavý scénář, který jsem vytvořil s Eugeniem Bianchim a kolegy v nedávném článku.

Pokud je tento scénář správný, černé díry, které vidíme na obloze, jsou hvězdy, které se hroubí a poté se odrážejí, ale vidíme to extrémně zpomaleně kvůli gravitační dilataci času.

**PT:** Lze pozorovat bílé díry?

**ROVELLI:** Ano, možná. Jedna hypotéza je, že jejich vznik je příčinou rychlých rádiových výbuchů, záhadných super násilných signálů zachycených rádiovými dalekohledy. Francesca Vidotto a já jsme nedávno navrhli další možnost, která mi připadá zajímavá: že malé bílé díry, které by na konci odpařování zůstaly po černých dírách, by mohly být stabilní a mohly by tvořit důležitou součást temné hmoty.

**PT:** Co právě čtete?

**ROVELLI:** Mimořádná kniha Alexandra Bogdanova, Tektologie. Na počátku 20. století byl Bogdanov velkým ruským intelektuálem. Jeho myšlenky předjímalý aspekty kybernetiky, systémové teorie a současného strukturálního realismu.

JN, kom od 04.06. do 29.06.2021