

## ČAS - NEJBĚŽNĚJŠÍ I NEJZÁHADNĚJŠÍ REALITA

Jan Novotný

Katedra teoretické fyziky a astrofyziky PŘF UJEP  
611 37 Brno, Kotlářská 2

Všechny naše prožitky a myšlenky se skládají do řady, jejíž jeden konec se nám vzdaluje a rozplývá v dálce - minulost, zatímco druhý zůstává čerstvý díky neustálému narůstání - přítomnost. Naše znalost světa nám umožňuje předvídat a někdy i uvědoměle připravovat to, co se má jednou stát přítomností - budoucnost. Toto neustálé zpřítomňování, jímž se budoucnost uskutečňuje a zároveň propadá do minulosti, nazýváme plynutím času. Je to nejzákladnější a nejběžnější realita, kterou by patrně nemohl popřít ani solipsista.

Časové intervaly jsme schopni porovnávat podle jejich délky. Náš pocit délky času je ovšem vágní a může se od člověka k člověku silně lišit. Jsme však obklopeni a prostoupeni periodickými ději, jako jsou astronomické kulminace, mechanické kmity či biologické rytmy. Není a priori nutné, aby tyto děje byly ve vzájemném souzvuku, to jest, aby se poměr počtů period v určitém období neměnil s plynutím času. Zkušenost však ukazuje, že tomu tak je a že případné narušení tohoto pravidla se dá vždy vysvětlit vnějšími vlivy (např. doba kmitu zahřátého kyvadla se prodlužuje, srdce při námaze tepe rychleji).

Můžeme proto mluvit o objektivní míře času a o hodinách, které čas měří. I náš psychologický pocit času je odrazem této objektivní míry, i když značně podléhá proměnným a často nezjistitelným vlivům. Sama existence vzájemně souhlasících hodin je důsledkem a projevem jedné ze základních vlastností přírody - nezávislosti jejich zákonů na době, v níž jsou zjišťovány, jejich trvalosti. Rozvoj techniky umožňuje konstruovat stále dokonalejší hodiny. Délkou času se však nemíni žádné konkrétní realizace, ale ideální míra, vzhledem k níž jsou nepraměnné fyzikální zákony.

Důsledkem těchto zákonů je v řadě případů rovnoměrnost fyzikálních pohybů, jako jsou např. astronomické a mechanické rotace. Pomocí těchto dějů může být plynutí času převedeno na rovnoměrný pohyb v prostoru. Čas je "zprostorověn" a jeho délka - stejně jako prostorová vzdálenost v rámci geometrie - může být určena reálným číslem. (Počátek a jednotka mohou být zvoleny libovolně.) Technická přesnost určování času dnes již mnohonásobně převyšuje možnosti

psychologického rozlišení. Teoretická možnost tohoto popisu času jako spojitě veličiny však sahá ještě mnohem dále - kvantové efekty by se měly stát podstatnými až při Planckově čase, pod který bychom se dostali, teprve kdybychom dělili sekundu 144 krát.

Kromě této interpolace se zdá přirozená i extrapolace času za hranice naší zkušenosti a existence, od nekonečné minulosti do nekonečné budoucnosti.

Zatím jsme sledovali a porovnávali hodiny v těsném kontaktu. Lze porovnávat údaje hodin, které jsou prostorově odlehlé? Podle I. Newtona je takovéto porovnání jednoznačné - okamžik "zde a nyní" je součástí okamžiku "nyní" v celém prostoru. Newtonovský čas, právě tak jako prostor, je absolutní - jako je prostor i tam, kde nic není, plyne čas i tam, kde se nic neděje. Hodiny plynutí absolutního času pouze ukazují, zviditelňují.

Psychologickým kořenem, z něhož představa o absolutní současnosti vyrostla, je zřejmě skutečnost, že rychlost světla je nesrovnatelně větší než rychlost běžných pohybů, což v nás vyvolává iluzi, že vidíme okamžitý snímek stavu světa. I když byla konečnost rychlosti světla poznána a změřena, uchovála se tato představa díky tomu, že newtonovská mechanika připouští okamžité působení na dálku (např. gravitační).

Lpění na absolutní současnosti vedlo k rostoucím rozporům mezi teoriemi a výsledky experimentů, které dokázala odstranit až speciální teorie relativity (1905). Tato teorie podává prakticky uskutečnitelný návod na synchronizaci hodin pomocí výměny světelných signálů, zároveň však ukazuje, že synchronizace pak není jednoznačná a závisí na pohybu pozorovatelů, kteří si signály vyměňují. Dvoje hodiny, které se rozejdou na různá místa a zase sejdou, ukáží obecně různé uplynulé doby. To je proslulý paradox hodin, přičemž slovo "paradox" vyjadřuje pouze údiv nad novostí výsledku, nikoliv nějakou logickou nesnáz. Čas jako měřitelná kvantita tedy neudává vzdálenost dvou událostí, ale délku "světočáry" v prostorově-časovém kontinuu, která události spojuje - a je geometricky zcela přirozené, že pro různé čáry jsou tyto doby různé.

Řečeno slovy H. Minkovského, prostor a čas samy o sobě se ve speciální teorii relativity změnily ve fikce a realitu si uchoválo již jen jejich sjednocení. Matematicky je prostorově-časové kontinuum, jehož "body" jsou události. V každé události lze vyznačit časové směry, v nichž se hodiny mohou pohybovat,

ve prostorově-časovém kontinuu, podle nichž lze hodiny synchronizovat. Hraničním případem jsou světelné paprsky, které se v dané události sbíhají anebo z ní vycházejí. Čáry vedené v časových směrech - časové křivky či světočáry - odpovídají tedy pohybům s rychlostí menší než je rychlost světla. Matematicky je prostorově-časové kontinuum prostorem Minkovského s tzv. pseudoeukleidovskou geometrií. Její odlišnost od geometrie eukleidovské se projevuje ve zmíněné již odlišnosti prostorových a časových směrů - přitom ze čtyř vzájemně kolmých směrů jsou nutně tři prostorové a jeden časový. V tomto rozdílu dimenze spočívá veškerý geometrický rozdíl mezi "prostorem" a "časem" v teorii relativity.

Tento rozdíl je ovšem velmi podstatný. Světelné paprsky tvoří, jak ukázal Minkowski, ve čtyřrozměrném prostoru dvojkužel s vrcholem v události, v níž se sbíhají a rozbíhají. Představíme-li si pro názornost tento dvojkužel postavený svisle, pak časové směry směřují z vrcholu do horního a dolního kužele a jsou tedy dvou odlišných typů, zatímco prostorové směry mezi kužely takto separovány nejsou. Časová světočára se proto na rozdíl od prostorové nemůže vrátit do výchozí události, čas nemůže být podle speciální teorie relativity cyklický.

Další vývoj nesnadnou, ale logickou cestou dovedl A. Einsteina k obecné teorii relativity (1915). Podle ní je prostorově-časové kontinuum zakřivené a toto zakřivení, určené hmotami, které se v prostorově-časovém kontinuu nacházejí, se projevuje jako gravitace. Lokálně se prostorově-časové kontinuum neliší od prostorově-časového kontinua speciální teorie, podobně jako se dá geometrie zakřivené plochy v okolí libovolného bodu aproximovat geometrií rovinnou.

Zrekapitulujeme-li nyní stručně vývoj pojetí času od Newtona k Einsteinovi, vidíme dvě podstatné změny: ve speciální relativitě se prostor a čas spojují v jednotné "jeviště" fyzikálních dějů a v obecné relativitě se ukazuje, že vlastnosti jeviště nejsou a priori dány, ale jsou ovlivňovány ději, které na jevišti probíhají. Zprostorově-časové kontinuum, jeho geometrická interpretace, byla tímto vývojem nejen zachována, ale i prohloubena a upevněna. Matematicky je čas vystižen jako veličina čistě geometrické povahy - události tvoří čtyřrozměrný prostor, a čas jako veličina je délka křivky jistého typu v tomto prostoru. Tato délka může být změřena hodinami.

Obecná teorie relativity je posledním vcelku obecně přijatým slovem, které matematická přírodověda vyslovila o povaze času.

I přes její krásu a úspěšnost nelze toto slovo považovat ani za úplné ani za poslední. K tomuto přesvědčení vede již logika vývoje fyziky - geometrie prostoročasu je vyjádřením gravitačního pole a těžko uvěřit, že by gravitační interakce nesouvisela s ostatními interakcemi a nebyla stejně jako ony podřízena principům kvantové mechaniky. Kvantovat gravitační pole však znamená podle předchozího kvantovat prostor a čas a v tomto smyslu jde o zcela novou úlohu, jejíž řešení dosud naráží na obrovské potíže nejen matematické, ale i pojmové.

Jsou však i další důvody, pro něž si čas zaslouží být označen za nejzáhadnější realitu i přes všechny vědecký pokrok spojený s jeho poznáváním. Některé vyplývají z důsledného rozvinutí samotné obecné teorie relativity, jiné z konfrontace teoretického obrazu času s tím, jak vystupuje v naší zkušenosti.

Řešení Einsteinových rovnic v obecné teorii relativity vedlo k situacím, kdy světočáry popisující "rozumné" pohyby částic - např. jejich pohyb pod vlivem gravitačního pole - nelze prodloužit za jistou konkrétní hodnotu parametru, udávajícího jejich délku, tj. podle předchozího čas měřený hodinami, které se pohybují spolu s částicí. Čas světočáry má tedy "počátek" či "konec", případně obojí. Zejména zásluhou Penrose a Hawkinga se vyjasnilo, že k takovým situacím - singularitám - dochází nikoliv výjimečně, tj. za podmínek, jejichž přesné splnění je nekonečně málo pravděpodobné, ale běžné. Také vesmír, v němž žijeme, měl (aplikujeme-li na něj bez výhrad obecnou teorii relativity) singularitu v minulosti (Velký třesk) a současná pozorovací data nevyklučují, že ji bude mít i v budoucnosti. Ke vzniku singularity by mělo dojít také v konečném stadiu vývoje některých hvězd (černé díry). Na rozdíl od kosmologických singularit, které se týkají veškeré kosmické hmoty, jsou tyto singularity pouze lokální.

Jedna z možností, jak se postavit k singularitám, je smířit se s jejich existencí jako s existencí hranic prostoročasového popisu. Kvantová teorie dává ovšem naději, že se podaří proniknout hlouběji.

Snahy o řešení problému singularit v rámci kvantových i nekvantových modifikací obecné teorie relativity jsou doprovázeny řadou zajímavých spekulací, které se týkají času - např. úvahami o cykličnosti času, proměnnosti fyzikálních zákonů s časem, větším počtu dimenzí prostoročasu či odlišném rozdělení těchto dimenzí mezi "prostor" a "čas" v jistých oblastech. Tyto spekulace jsou dokla-

dem, jak daleko může být matematizovaná teorie dovedena logikou svého vývoje za hranice zkušenosti.

V souvislosti s kosmologií je zajímavá ještě jedna okolnost týkající se času. Speciální teorie relativity nás naučila, že neexistuje žádná privilegovaná koordinace času pro prostorově odlehle události. Fridmanovy kosmologické modely se však vyznačují tím, že je v nich univerzální "kosmický čas" odpovídající stupni vývoje kosmické hmoty. Lze tedy mluvit o dějinách vesmíru (či přinejmenším jeho pozorované části) - čas nabývá hlubšího významu než pouhá délka, stává se měřítkem vývoje. Tyto dějiny jsou teoreticky zkoumány do velmi raných období, kdy se v důsledku rychlého rozpínání stav vesmíru podstatně měnil ve zlomcích sekundy. Pozorovací data nás utvrzují v zásadní správnosti teorie rozpínajícího se vesmíru. Tato oblast zkoumání se velmi dynamicky rozvíjí a jednotlivé informace rychle zastarávají. Proto ji nebudeme dále rozebírat.

Poznamenejme, že je zajímavé porovnat výsledky moderní kosmologie s názory materialisticky orientovaných filozofů minulých století, kteří se většinou domnívali, že nejenom přírodní zákony, ale i "průměrný stav světa" je časově neproměnný. Touto vžitou představou byl ovlivněn ještě Einstein při vytváření prvního obecně relativistického kosmologického modelu.

Slovo "dějiny" nás uvádí do problematiky, která je zvláště fascinující. Mluvili jsme již o "začátku" a "konci" světočar, o světočarách, které se "sbíhají" či "vycházejí" z dané události, o "minulosti" a "budoucnosti" vesmíru. Dáváme nyní tato slova do uvozovek, protože v rámci geometrie jde o čistě konvenční rozlišení - obě třídy vzájemně opačných časových směrů jsou zcela rovnoprávné. Není také geometrického důvodu, proč by i prostorové směry, které do takovýchto tříd rozdělit nelze, neměly odpovídat pohybům částic. Skutečností však je, že částice pohybující se v prostorových směrech (tj. rychlostí vyšší než rychlost světla) - tachyony - nebyly zjištěny a vývoj běžných fyzikálních systému umožňuje obě třídy časových směrů snadno rozlišit, jak je patrné z každého filmu puštěného pozpátku.

Obvyklá orientace času od minulosti k budoucnosti, jeho směr, není tedy věcí dohody, ale objektivním faktem. Odkud se však bere, není-li dána samotnou geometrií?

Statistická fyzika velmi prohloubila naše porozumění problému, když ukázala, že směr od minulosti k budoucnosti je směrem rostoucí

pravděpodobnosti - neboli růstu entropie. Tak lze vysvětlit, proč se při třesení nádobou promíchávají černé a bílé kuličky, které byly na počátku odděleny. Ovšem původní nepravděpodobný stav, připravený člověkem, mohl vzniknout jen v nepravděpodobném světě, předcházely mu jiné nepravděpodobné stavy. Jak se však svět do nepravděpodobného stavu dostal a proč je takový všude v dosahu našich pozorování?

Do tohoto problému, nastoleného už v minulém století, vnesla moderní fyzika novou nuanci. Ještě asi před dvaceti lety byly známy pouze fyzikální zákony neumožňující rozlišit mezi minulostí a budoucností, takže problém se z matematického hlediska týkal jen počátečních a okrajových podmínek, nikoliv samotných rovnic vyjadřujících fyzikální zákony. Rozpad  $K^0$  mezonu byl prvním pozorovaným jevem, jehož zákony tuto vlastnost invariance vůči časové inverzi neměly. Tento jev snad naznačuje, že "směr" je vlastností samotného času, a nikoliv pouze procesů, které v něm probíhají. Jeho souvislost se zákonem růstu entropie je ovšem zatím zcela nevysvětlena.

Velmi hlubokou a obsáhlou diskusi problému směru času podal nedávno R. Penrose. Kromě růstu entropie a rozpadu  $K^0$  mezonu uvažuje o pěti dalších oblastech, v nichž se projevuje směr času. Jsou to: proces měření v kvantové mechanice, retardace záření, psychologický čas, rozpínání vesmíru, černé a bílé díry v astrofyzice. Již z tohoto seznamu je patrna univerzálnost problému a jeho kosmologický charakter.

Ani Penrose nedospívá ve svém přehledu k závěrům, které by bylo možno považovat za prokázané. Tím spíše se o to nebudeme pokoušet zde. Vzhledem k našemu zájmu o souvislosti pojmů se však sluší alespoň upozornit na vztah mezi směrem času a příčinností. Obrácení času zaměňuje příčinu a následek. Střepy v kalužině se pod úderý molekul podlahy a vzduchu složí ve sklenici s pivem a ta vylétne nahoru právě ve chvíli, kdy se nad nimi objeví ruka schopná sklenici uchopit. Již tento příklad naznačuje, že příčinnost, jak jí běžně rozumíme, není totožná s determinismem, který je v našem obráceném výkladu zachován. Víme však vskutku, o čem mluvíme, když používáme slov "příčinnost", "příčina"? Tuto otázku ponecháváme na svědomí čtenářů.

Probrali jsme, pokud to naše schopnosti a znalosti dovolovaly, nejvýznamnější aspekty času, jak je poznala či snaží se poznat fyzika. Jak asi přijme čtenář naše mínění, že nejdůležitější aspekt času, který jsme se pokoušeli vystihnout v úvodním odstavci, nebyl

v dalších úvahách vůbec dotčen, natož vystižen? "Čas t", který užíváme v rovnicích a zakreslujeme v grafech a prostorovočasových diagramech, neplyne. Je "dán" podobně jako souřadnice prostorové. Řešení rovnic jsou napsána a obrázky namalovány "z hlediska věčnosti", jakoby poté, co se už všechno událo. Prostorovočasové kontinuum se svým děním leží před badatelovým duchem jako obrovský koberec se vzory, jejichž zákon hledá - protože však jeho tělo je nuceno se omezit na jistou dráhu na koberci, jejíž body se postupně osvětlují pocitem "přítomnosti", může nabyt dojmu, že vzory se tvoří a hned zase zanikají před jeho očima, ba dokonce s jeho aktivní, svobodnou účastí. V "pravé skutečnosti" je ovšem i badatel a jeho zkoumání daným vzorem na koberci.

Dalo by se namítnout, že tento výklad je adekvátní pouze deterministickým teoriím. Kvantová mechanika a statistická fyzika nepochybně užitím pojmu pravděpodobnosti učinily velký krok směrem k přirozenému času naší zkušenosti. Zdá se však, že hlavní bariéru nepřekročily. Pravděpodobnostní předvídaní nepostihuje naši intuitivní jistotu, že minulé události, byť je třeba nedokážeme rekonstruovat, se přesto jediným a určitým způsobem staly a "nemohou se odestát", kdežto budoucnost je otevřena. Dále platí, co N. Wiener vyjádřil slovy: Tyche (náhoda) je stejně nelítostnou bohyní jako Ananke (osud). Ani pravděpodobnostní zákony neumožňují pochopit náš podíl na utváření budoucnosti. Wheelerova-Everettova hypotéza, podle níž všechno možné je také skutečné a koberec prostorového času se štěpí do paralelních větví, na nichž jsou různé možnosti realizovány, působí násilně v přirozeném světě, ale přirozeně ve světě matematické přírodovědy.

S. Weinberg v závěru "Prvních tří minut" vyjadřuje smutek nad nesmyslností údělu, který vesmíru přisuzují současné kosmologické teorie - buď zánik v singularitě nebo do nekonečna pokračující rozpad. Takový smutek sotva přísluší objektivnímu badateli. Proč by nás měly události s jedněmi hodnotami časové proměnné rmoutit více než události s jinými hodnotami, proč bychom měli mít nějaká přání ohledně délky jejího intervalu? Avšak ani veliký fyzik nemůže prožívat čas jinak než lidsky.

Je vůbec v silách objektivního poznání dospět k takovému pochopení času, které by zahrnovalo a dalo smysl i pocitům svědomí, odpovědnosti, naděje, jež s časem spojujeme? Negativní odpověď na tuto otázku napovídá Bohrův princip komplementarity, podle něhož se skutečnost jeví vždy ve vzájemně se doplňujících, ale i vyluču-

jících aspektech. Soustředíme-li se na jeden, ztrácíme druhý, takže úplný a jednotný popis světa je nemožný. Takovými aspekty jsou nepochybně objektivní poznání a osobní účast. N. Bohr to vyjádřil slovy, že "v dramatu světa jsme nejen diváky, ale i herci". Je možné, že čas, jak jej vidí divák, nebude nikdy totožný s časem, který prožívá herec. Otázku lze však ještě vyostřit: Jsme také spoluvtvárci dramatu? Náš trvalý zájem o tuto otázku a neschopnost ji přesvědčivě zodpovědět patří rovněž k záhadám spojeným s časem.

### Literatura

Vzhledem k rozsáhlosti tématu má literatura výběrový a místy i náhodný charakter. To se týká zejména filozofických prací 12-16.

1. Princip relativity (sborník prací klasiků teorie relativity). Atomizdat, Moskva 1973.
2. Einstein A.: Sobraniye naučnych trudov, I, IV. Nauka, Moskva 1965.
3. Eddington A.: The nature of the physical world. London 1948.
4. Bohr N.: Izbrannyje naučnyje trudy, II. Nauka, Moskva 1971.
5. Vremja i sovremennaja fizika (sborník, překlad z francouzštiny). Mir, Moskva 1971.
6. Zeldovič J. B., Novikov I. D.: Struktura i evoljucija vselennoj. Nauka, Moskva 1975.
7. Weinberg S.: První tři minuty. Mladá fronta, Praha 1981.
8. Penrose R.: Singuljarnosti i asymetrija vo vremeni. Příspěvek ve sborníku Obščaja teorija otnositelnosti. Mir, Moskva 1983.
9. Davies P.: Slučajnaja vseleonnaja. Mir, Moskva 1985.
10. Ginzburg V. L.: O fizike i astrofizike. Nauka, Moskva 1985.
11. Weizsäcker C. v.: Dějiny přírody. Svoboda, Praha 1972.
12. Augustinus A.: Vyznania. Trnava 1948.
13. Voltaire F. A. M.: Dialog Lucretia s Poseidonem, v knize Voltaire, myslitel a bojovník. SNTL, Praha 1967.
14. Engels B.: Dialektika přírody (úvod). Svoboda, Praha 1952.
15. Bergson H.: Čas a svoboda. Samec, Praha 1947.
16. Šafařík J.: Sedm listů Melinovi (dopisy příteli přírodovědci). Družstevní práce, Praha 1948.

Pedagog.-fyz. dialogy, 48alsy dvoú 1986  
ed. Ped. skup. FVS JCMF, sv. 5