

Feynmanova cesta do Tuvy

Před sto roky, 11. května 1918, se v New Yorku narodil emigrantům z Minsku **Richard Phillips Feynman**. Stal se zřejmě nejoriginálnější fyzikem v historii, získal Nobelovu cenu, ale také zaujal řadu (i českých) laických zájemců o vědu texty svých populárních přednášek. A humorně laděnými knihami.

JIŘÍ CHÝLA

částicový fyzik



V mládí byl nadšeným filatelistou a jako mnoho jiných byl okouzlen unikátně tvarovanými známkami Republiky Tuva v jižní části Sibíře na hranicích s Mongolskem, na nichž byla různá zvířata a další zajímavé výjevy. Koncem sedmdesátých let se Feynman se svým přítelem Leightonem rozhodl zorganizovat expedici do této země, jež byla tehdy součástí Sovětského svazu. Svým způsobem byla snaha cestovat do Tuvy, popsána v Leightonově knize *Do Tuvy za každou cenu*, alegorií na Feynmanovu zvědavost a touhu objevovat nové věci. Během desetileté snahy získat povolení Feynman onemocněl a zemřel krátce předtím, že dostali víza. Cestu uskutečnila až jeho dcera Michelle v roce 2009.

Je obtížné srovnávat Feynmana s ostatními velikány moderní fyziky, přesto je asi pravda, že byl nejoriginálnější. Základním rysem jeho práce byla snaha formulovat fyzikální zákonitosti vlastním způsobem. Byl nejen teoretickým fyzikem, ale také skvělým matematikem, rozuměl experimentálním zařízením a zpracování dat. V tom se mu nikdo nevyrovnal. Především měl ovšem úžasnou fyzikální intuici, která mu umožňovala oddělit podstatné rysy fyzikálních jevů od nepodstatných a formulovat přibližná řešení či modely složitých jevů.

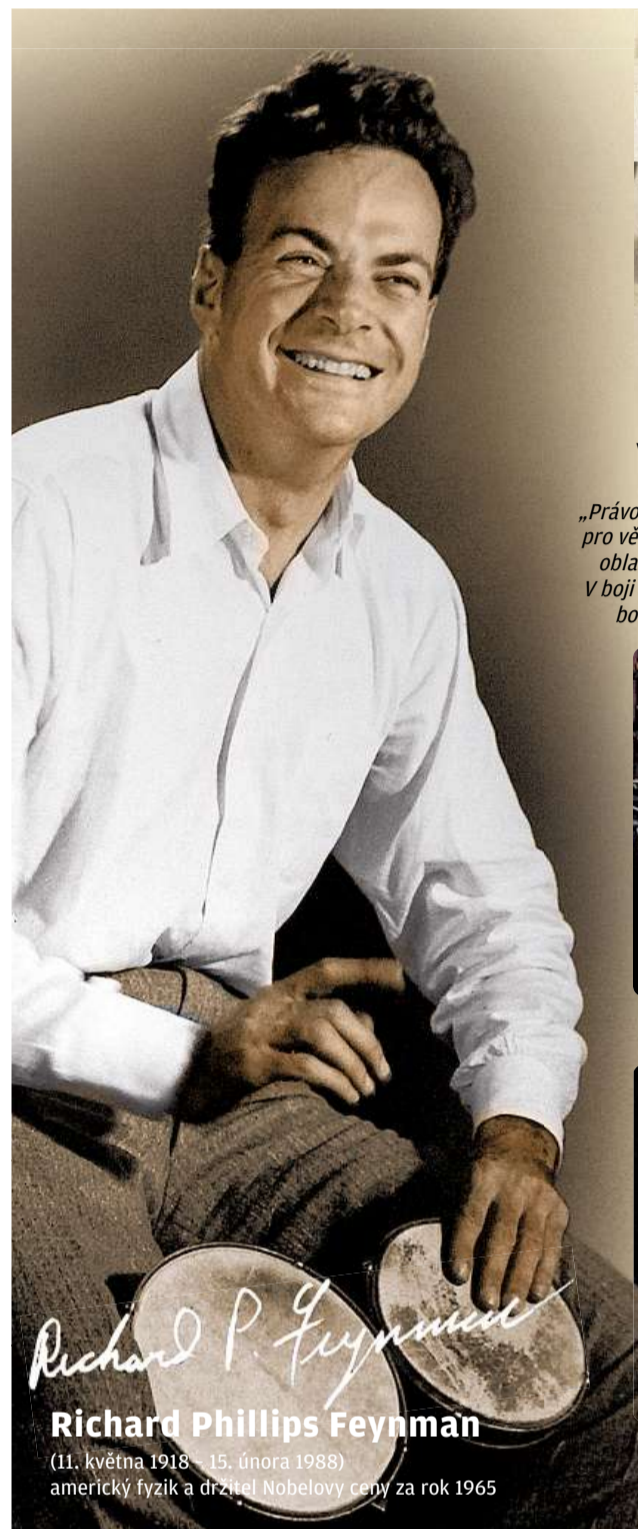
Los Alamos

Feynman byl záračné dítě již na střední škole, kde vynikal v matematice. Bakaláře získal na Massachusettském technologickém institutu (MIT) a Ph.D. na Princetonské univerzitě koncem roku 1942.

Krátce před dokončením disertace dostal nabídku zapojit se do tehdy začínajícího Projektu Manhattan, jehož cílem, byl vývoj atomové bomby. Chvilku váhal, ale pak nabídku přijal a stal se členem týmu v Los Alamos, který se zabýval přímo konstrukcí bomby. Připomeňme, že teprve 2. prosince 1942 se na univerzitě v Chicagu, dalším místě Projektu Manhattan, podařilo Enricu Fermimu uskutečnit první řízenou jadernou reakci.

Už sama skutečnost, že Feynman byl přizván do Los Alamos ve věku pouhých 24 let a vlastně ještě jako doktorand, byla projevem respektu, který již tehdy požíval. Vzpomínky na tři roky v Los Alamos jsou obsaženy v esejí *Los Alamos zespoda*, která vyšla v roce 1980 v nakladatelství Springer v edici *Studie v historii moderní vědy*. V souvislosti s Los Alamos se obvykle připomíná Feynmanova vášeň otevírat trezory, obcházet různá byrokratická nařízení, jež v této supertajné laboratoři zavedli její vojenští velitelé, či to, jak si s manželkou posílali zašifrované dopisy.

Zde bych chtěl připomenout jiný, pro Feynmanovu povahu klíčový moment. Feynman byl na začátku zařazen do teoretické skupiny a pomáhal Hansi Bethe mu počítat jaderné reakce, které měly probíhat ve štěpném materiálu. To byl důležitý, ale nikoliv hlavní problém, tím bylo obohacení přírodního uranu o jeho izotop 235, jež byl pro štěpnou reakci nevhodnější. Brzy se ovšem zapojil i do skupiny provádějící výpočty na primitivních elektromechanických kalkulačkách, které dovedly jen sčítat, odečítat a násobit. Cílem bylo spočítat, kolik energie se při výbuchu uvolní, a na to kalkulačky nestačily. Na to bylo třeba objednat počítače IBM a odladit příslušný algoritmus. Než počítače přišly, Feynman zorganizoval pomocí starých kalkulaček výpočetní řetězec připomíná-



Richard Phillips Feynman

(11. května 1918 – 15. února 1988)
americký fyzik a držitel Nobelovy ceny za rok 1965

jící výrobní pás, v němž každá operátorka prováděla na své kalkulačce jen jednu operaci a výsledek předávala další. To dramaticky urychlilo výpočet a umožnilo algoritmus odladit před příchodem počítačů IBM.

I s nimi ovšem byla potíž, protože chyběli technici, kteří by je uvedli do provozu. A tak se o to docela úspěšně pokoušel Feynman se svým kolegovi. Ani pak se ovšem výpočty výrazně nezrychlily, protože na personál obsluhující počítače nikdo nedohlížel. Feynman byl požádán, aby přestal pracovat na teorii a převzal skupinu IBM. Brzy pochopil, v čem byl problém. Tito lidé byli v Los Alamos, ale z důvodů utajení jim nikdo neřekl, co a proč dělají. Jakmile jim to Feynman řekl, okamžitě se změnila atmosféra a pracovní nadšení. „Bojujeme ve válce, víme, o co jde,“ říkali a sami iniciativně vymýšleli postupy, jak výpočty urychlit, protože šlo o čas. Nakonec se podařilo výpočty provést včas a pokusný výbuch na vojenské střelnici v Alamogordu 16. července 1945 dopadl úspěšně. Feynman vzpomínal, že byl pravděpodobně jediný, kdo výbuch viděl bez černých brýlí, protože věděl, že se stačilo schovat za přední sklo nákladáku, které škodlivé ultrafialové světlo nepropouští.

Měsíc předtím mu zemřela na tuberkulózu jeho první manželka, Arline, studentská láska, kterou si vzal v roce 1942 přesto, že byla vážně nemocná. S její ztrátou se dlouho nemohl smířit a 16 měsíců po její smrti jí napsal dojemný dopis, který zůstal neotevřen až do Feynmanovy smrti.

Fyzika

Feynman opustil Los Alamos v říjnu 1945 a přijal nabídku působit na Cornelově univerzitě ve státě New York. Byla to pro něj osobně těžká doba, nejen v důsledku ztráty milované manželky, ale také v důsledku pocitu odpovědnosti za vývoj bomby, která usmrtila tolik lidí v Hirošimě a Nagasaki.

Přesto právě tam napsal několik prací, které tvoří základ moderní kvantové teo-

rie pole, základního nástroje pro popis mikrosvěta. Připomenou jen jednu, podle mého názoru tu nejdůležitější.

Feynmanovy diagramy

V roce 1965 byla Feynmanovi společně se Šin'ičiróem Tomonagou a Julianem Schwingerem udělena Nobelova cena za fyziku za „fundamentální práce v kvantové elektrodynamice s dalekosáhlými důsledky pro fyziku elementárních částic“. Kvantová elektrodynamika popisuje působení elektronů a protonů v atomech, a je tedy klíčová pro pochopení mikrosvěta. Pro tento text není podstatné, jaký problém laureáti na přelomu 40. a 50. let minulého století řešili, ale to, jaké metody k tomu vyvinuli. Feynman vytvořil metodu založenou na názorné grafické reprezentaci složitých matematických výrazů.

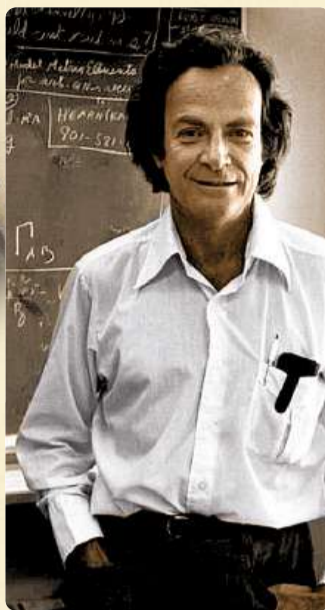
Pravděpodobnou příčinu exploze raketoplánu Challenger, při níž zahynula celá sedmičlenná posádka, Feynman identifikoval během několika dní

První takový diagram se objevil ve Feynmanově práci z roku 1949, přiznačně nazvané *Prostorovočasový přístup ke kvantové elektrodynamice*. Popisuje rozptyl dvou elektronů prostřednictvím „výměny“ fotonu. Síla Feynmanovy metody spočívá v tom, že každému elementu uvedeného obrázku, lince, vrcholu či spojnicí odpovídá přesně definovaný matematický člen. A takto lze reprezentovat všechny složité matematické výrazy. Metoda se stala základním nástrojem komunikace mezi teoretiky i experimentátory. Její význam je podobný vý-



Feynman se poprvé oženil v roce 1942, milovaná **Arline** však zemřela po třech letech v Novém Mexiku, kde pracoval na výrobě atomové bomby

„Právo pochybovat je důležité nejen pro vědu, ale řekl bych, že i pro jiné oblasti. Je to právo získané v boji. V boji za to, aby člověk směl pochybovat, aby si nemusel být jistý.“



Kromě mnoha jiných činností, včetně **ksařiny**, byl Feynman také vynikajícím **hráčem na bongo** a **výborným malířem**



Při veřejném slyšení **vyšetřovací komise** pátrající po příčině **zničení Challengeru** názorně předvedl **deformaci těsnících kroužků** užitých v raketoplánu při nízkých teplotách

FOTO: ARCHIV // KOLÁŽ ŠIMON / LN

znamu písma: podobně jako se z písmen skládají slova, a z nich věty, tak se z linek, vrcholů a spojnic skládají Feynmanovy diagramy, a ty se sčítají do konečného výrazu.

V dalších letech se věnoval jiným závažným problémům, zmíním zase jen jeden, který považuji za zásadní. Koncem šedesátých let byl v experimentech, při nichž se srážely elektrony s protony, pozorován neočekávaný jev: výsledky ukázaly na to, že elektrony se rozptylují na určitých částech protonů, které Feynman nazval „partony“ a které se při rozptylu chovají skoro jako volné. To by nebylo překvapivé, kdyby ony partony mohly být z protonu vyraženy, a existovaly tedy v přírodě jako samostatné částice. Tak tomu ovšem není a žádné partony v přírodě jako volné nebyly pozorovány. Tento paradox vyřešil Feynman předpokladem, že po srážce elektronu s jedním partonem v protonu se mezi vyraženým partonem a zbytkem protonu natáhne „struna“, jež se po krátkém čase změní na úhlově kolimovaný svazek normálních částic, nazývaný jet. Jety jsou tedy jakýmisi stopami po partonech.

Tento ad hoc předpoklad se ukázal jako správný v rámci teorie, která se nazývá kvantová chromodynamika, k jejímuž rozvoji Feynman rovněž významně přispěl a v níž jsou Feynmanovy partony jen převlečenými kvarky. Tato představa poskytuje základní rámec pro popis prakticky všech procesů zkoumaných ve srážkách elementárních částic.

Samba, bubínky a bary

Školní rok 1951/1952 Feynman strávil přednáškami v Brazílském centru pro fyzikální výzkum. Pobyt v Riu de Janeiro pro něj byl příjemným oddychem a únikem z atmosféry začínající studené války a podezřívavosti, již byl kvůli svým eskapádám s trezory v Los Alamos vystaven.

V Riu ho okouzila samba a naučil se hrát na zvláštní typ ocelového bubínku, nazývaný frigdeira, jež je k nerozeznání od normální páneve a do něž se tlučí kovovou tyčkou. Po večerech hrával v ba-

rech na afroamerický bubínek zvaný bongo, a tam ho také ulovila jeho druhá žena, Marie Louisa, blondýna s vášní pro vysoké podpatky a těsné šaty. Jejich manželství v letech 1952 až 1956 ztroskotalo – podle jejich slov u rozvodového soudu – proto, že Feynman počítal, i když seděl v obýváku nebo ležel v noci v posteli. Těžko říci, zda měla pravdu, možná ano.

Po návratu z Ria Feynman přešel na Kalifornský technologický institut, kde působil do konce života. V roce 1960 si vzal svou třetí ženu, Gweneth, již poznal v Ženevě a s níž měl syna Carla a dceru Michelle.

Challenger

Feynmanova schopnost řešit i problémy mimo dosah jeho primární expertizy teoretického fyzika se projevila i při jeho práci jako člena komise, která vyšetřovala příčinu zkázy raketoplánu Challenger, jenž 28. ledna 1986 po startu explodoval. Pravděpodobnou příčinou exploze, při níž zahynula celá sedmičlenná posádka, Feynman identifikoval během několika dní a již 11. února 1986 ji demonstroval během veřejného slyšení. Těsnící kroužky mezi několika částmi pomocných motorů při teplotě kolem nuly, jež byla v okamžiku startu na mysu Canaveral, ztrácejí pružnost potřebnou pro to, aby spoje utěsnily.

Feynman ovšem hodně udělal pro bezpečnost budoucích letů raketoplánu. V desetistránkové zprávě nazvané *Osobní poznatky o spolehlivosti raketoplánu* velmi kriticky analyzoval proceduru přípravy a schvalování letů raketoplánu. Kritika směřovala především na nesoulad mezi názory technického personálu, který starty připravoval, a vedení NASA, jež o nich rozhodovalo. Zatímco vedení NASA tvrdilo, že pravděpodobnost nehody při startu je jedna ku 100 000, inženýři i Feynman odhadovali poměr jedna ku 100, tedy jako tisíckrát pravděpodobnější. V závěru zprávy, kterou psal v době, kdy byl již těžce nemocen, je velmi důrazně doporučení, aby vedení NASA „žilo v realitě při snaze pochopit slabé stránky a nedostatky použitých technologií, aby se mohlo pokusit je odstranit“.

Vizionář

Feynmanovo jméno je spojováno také s dvěma dalšími dnes bouřlivě se rozvíjejícími obory: nanotechnologiemi a kvantovým počítáním. V obou případech Feynman předběhl dobu o zhruba čtvrt století.

V roce 1959 přednesl na výročním zasedání Americké fyzikální společnosti přednášku nazvanou *Vespuďe je hodně místa s podtitulkem Pozvánka do nového fyzikálního oboru*. Na začátku připomněl změny, které přinesly obory nízkých teplot, vysokých tlaků a vysokého vakua, a pak začal snít o tom, jak bude možné jednou manipulovat jednotlivými atomy a jaké nové možnosti toto přinese, neboť atomy se nechovají jako makroskopické objekty, ale řídí se kvantovou mechanikou. V konečném důsledku si představoval, že bude možné vytvářet jakékoliv molekuly. Jeho myšlenka neměla bezprostřední vliv, primárně proto, že tehdy ještě neexistovaly potřebné přístroje, kterými by bylo možné takové manipulace provádět. Teprve v polovině osmdesátých let se stala inspirací pro teoretický vývoj a po vynálezu speciálního typu mikroskopu, kterým jsou na povrchu látky vidět jednotlivé atomy, i reálnou možnost.

V roce 1981 na konferenci organizované společně MIT a IBM Feynman vystoupil s přednáškou *Počítačové simulace fyzikálních procesů*. V ní se zabýval otázkou, jak na počítači simulovat procesy, které se řídí kvantovou mechanikou, a došel k závěru, že kvantové jevy klasickými počítači simulovat nelze. A typickým feynmanovským stylem se na přítomné obrátil s výzvou: „Příroda není klasická, a tak když ji chcete simulovat na počítači, vymyslete kvantověmechanickou proceduru a panečku, to je nádherný problém, protože jeho řešení nebude jednoduché.“ A měl pravdu.

Feynman byl mimořádně zdatný komunikátor, oblíbený pedagog a úspěšný popularizátor vědy. Svými přednáškami a veřejnými vystoupeními, při nichž hrála důležitou roli gestikulace, dokázal oslovit studenty i veřejnost. A svými knihami, z nichž nejznámější je *To nemyslíte vážně, pane Feynmane*, ukázal, že vědci nemusí být suchaři.