

# Door meten tot weten\*

Jiří Grygar, Radomír Šmída

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Na Slovance 2, 182 21 Praha 8

*Před 96 lety uskutečnil rakouský fyzik Viktor Hess epochální výstup balonem Böhmen, při němž objevil kosmické záření, a za to získal v r. 1936 Nobelovu cenu za fyziku. Sedmdesát let poté se autoři podíleli na obdobných měřeních při letu balonu Bohemia, při němž se podařilo nezávisle ověřit, že Viktor Hess měřil dobře a Kamerlinghova-Onnesova věta platí.*

## PROLOG

Konec 19. století poznamenal experimentální fyziku vzrušujícími objevy, jejichž důsledky stále výrazně pociťujeme: v letech 1887–88 dokázal H. Hertz existenci elektromagnetických vln a fotoelektrického jevu, v r. 1895 objevil W. Roentgen paprsky X a o rok později H. Becquerel přirozenou radioaktivitu. V r. 1897 dokázal J. J. Thomson existenci elektronu a v následujícím roce separovali manželé M. a P. Curieovi polonium a radium. Na počátku 20. stol. byli proto fyzikové připraveni na další převratné objevy. Velmi zapeklitou záhadu představovala pozorování elektrické vodivosti vzduchu, což vedlo k samovolnému vybíjení listkových elektroskopů. Většina odborníků se domnívala, že jde o důsledek právě objevené radioaktivity, tzn. že radioaktivní prvky v horninách zemské kůry slabě ionizují vzduch. Proto se tehdy razil pojem „zemské záření“ (*Erdstrahlung*). Kdyby tato domněnka byla správná, měla by ovšem ionizace vzduchu stoupat při sestupu do podzemí a naopak s výškou nad povrchem Země klesat.

\* Heike Kamerlingh Onnes: „Prostřednictvím měření dospíváme k vědění.“



Obr. 1 Portrét V. Hesse z doby jeho působení ve Vídni.

O ověření tohoto předpokladu se pokusil německý duchovní Theodor Wulf (1868–1946), který učil fyziku na jezuitské koleji v holandském Valkenburgu. Sestrojil si velmi kvalitní elektrometr, kterým měřil vodivost vzduchu v podzemních jeskyních, vyhloubených při těžbě vápence v okolí Valkenburgu. Ke svému překvapení však zjistil pravý opak: při sestupu pod zem vodivost vzduchu výrazně klesala. Proto se odhodlal k dalším měřením takřkajíc opačným směrem. Požádal o pomoc pařížskou univerzitu, aby mohl měřit závislost vodivosti vzduchu na výšce nad terémem na Eiffelově věži. Z měření publikovaných v r. 1909 [1] vyplynulo, že pokles vodivosti vzduchu s výškou je mnohem menší, než kdyby byl zdroj záření někde pod zemským povrchem. V rámci chyb měření se dokonce zdálo, že vodivost neklesá vůbec. Wulf z toho usoudil, že zdroj pronikavého záření musí ležet buď v zemské atmosféře nebo dokonce i nad ní. Další autoři se pokusili měřit toto záření na dostupných vrcholcích hor, ale měření bylo málo a tak výsledky byly neurčitě; rozhodně však odporovaly domněnce, že jde o zemské záření.

## ŠEST HODIN V BALONĚ

V té době vstoupil na scénu mladý rakouský fyzik Viktor Hess, který se narodil ve Štýrsku v r. 1883 a po gymnaziálních studiích ve Štýrském Hradci absolvoval s vyznamenáním studium fyziky na tamější univerzitě v r. 1906. Poté přešel na vídeňskou univerzitu, kde se v r. 1910 habilitoval a začal se zabývat radioaktivitou a atmosférickou elektřinou (obr. 1). Kromě toho byl příznivcem balonového létání, a to ho přivedlo k myšlence využít právě této platformy k měření ionizace vzduchu v dostatečně velkém rozsahu výšek. Od r. 1911 začal podnikat balonové výstupy v balonech plněných svítiplynem, při nichž testoval hlavně vlastní elektrometry odolné proti změnám teploty a tlaku. Malá nosnost balonů však nemožňovala dosáhnout výšek nad 1 500 m, a tak i jeho výsledky měření nebyly průkazné – zdálo se, že s výškou vodivost vzduchu mírně klesá, ale rozhodně mnohem méně, než aby to oživilo domněnku o podzemním původu záření, které bylo evidentně mnohem pronikavější než již objevené paprsky X a gama. Některé lety uskutečňoval v noci a při nich zjistil, že ionizace vzduchu během noci neklesá, takže tajemné záření patrně nijak nesusouvisí se Sluncem. Hess též využil jedinečné příležitosti

17. dubna 1912, kdy bylo ve střední Evropě pozorovatelné téměř úplné zatmění Slunce a při balonovém výstupu během zatmění do výšky až 1 600 m nezjistil žádný polek, takže tím vyloučil, že by jediným zdrojem tohoto záření bylo Slunce.

O měsíc později 20. 5. 1912 doletěl při nočním letu z Vídně až nad Kutnou Horu a dosáhl maximální výšky 1 020 m, načež po 5,5 hodinách letu přistál poblíž Sadové u Hradce Králové. Ani další tři lety nepřinesly potřebný zvrat, tzn. dosažení podstatně větší výšky balonu nad terénem, a tak se V. Hess rozhodl k odvážnému řešení změnit náplň balonu ze svítiplynu na vodík! Dozvěděl se, že vodík vyrábí chemická továrna v Ústí n. Labem. Odtud odstartoval 7. 8. 1912 v 6:12 h s balonem *Böhmen* o obsahu 1 680 m<sup>3</sup> pilotovaným W. Hofforym k epochálnímu sedmému letu v trvání 6 hodin za účasti meteorologa E. Wolfa. Hess dosáhl převýšení až 5 350 m a měřil ionizaci vzduchu až do převýšení 4 700 m – jak při vzestupu, tak i při sestupu. Na palubě měli tři elektrometry, dále kyslíkové bomby a zátěž 52 pytlů o celkové hmotnosti 800 kg. Letěli převážně severním směrem (obr. 2), takže za hodinu a čtvrt přeletěli hranice do Německa a čtyři a půl hodiny po startu dosáhli zmíněného rekordního převýšení, i když v těch chvílích posádka zřejmě prožívala dramatické chvíle vinou mrazu a nedostatku kyslíku. Nakonec však ve 12:15 h hladce přistáli (obr. 3) na písčité louce poblíž vesnice s typicky braniborským jménem Pieskow, nedaleko od Berlína, kam po kalibracích přístrojů a sbalení balonu odjeli, aby, jak píše sám Hess, „odcestovali nočním rychlíkem zpět do Vídně“.

Zpracování měření uveřejnil V. Hess ještě v témže roce [2]. Průměrné hodnoty ze všech tří přístrojů na palubě ukázaly shodně, že ve výšce 500–1 000 m nad zemí sice ionizace vzduchu v porovnání s přízemní hodnotou klesla asi o 5 %, ale pak se začala zvedat zpět na původní hodnotu ve výšce 1 500 m. Nad výškou 1 800 m začala ionizace zřetelně narůstat, takže ve výšce 3 500 m stoupla od startu o pětinu a ve výšce 4 500 m již na dvojnásobek přízemní hodnoty – viz graf 1. Hessova měření však nebyla zpočátku přijímána příznivě. Velkým kritikem Hessových výsledků byl zvláště proslulý americký fyzik Robert Millikan (1868–1953), jenž za změření náboje elektronu obdržel v r. 1923 Nobelovu cenu za fyziku. Viktor Hess se fakticky dočkal zadostiučinění až uděle-



Obr. 2 Trasa balonu *Böhmen* 7. 8. 1912 (Ústí n. L. – Pieskow) podle [4].



Obr. 3 Viktor Hess (uprostřed v čepici) po přistání 7. 8. 1912.



Obr. 4 V. Hess (druhý laureát zleva) přebírá Nobelovu cenu 1936.

ním Nobelovy ceny (obr. 4) za objev kosmického záření (tento termín zavedl r. 1925 právě Millikan) v roce 1936 [3]. Tehdy už měl za sebou další početné práce o biologických účincích radioaktivity, na což sám zdravotně doplatil amputací prstu a operací hrtanu. V té době pracoval na univerzitě v Innsbrucku, kde mj. zřídil horskou stanici pro pozorování atmosférických dějů a kosmického záření ve výšce 2 330 m na úbočí hory Hafelekar v Tyrolských Alpách.

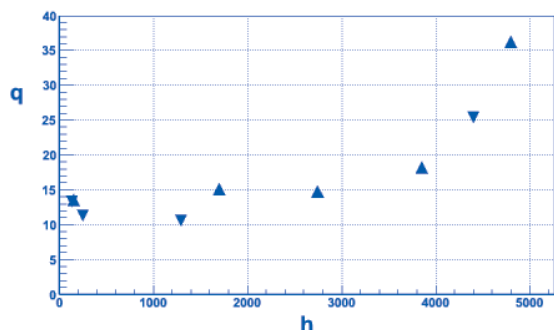
Hesse pak tvrdě postihl anšlus Rakouska v březnu 1938, kdy byl nejprve poslán do předčasného důchodu a ještě téhož roku v září byl důchodu zbaven. Odvážný úředník gestapa ho varoval, že bude i s manželkou (kteřá byla židovka) zatčen a uvězněn v koncentračním táboře, pokud do měsíce z Rakouska nezmizí. To se manželům Hessovým podařilo, když uprchli do Švýcarska a odtamtud odjeli do USA, kde se Hess stal profesorem na Fordhamské univerzitě v New Yorku. V r. 1944 získal





Obr. 5 Předletová příprava 11. 10. 2006 (zprava O. Franzlová, L. Křížek, JG). Foto R. Šmída

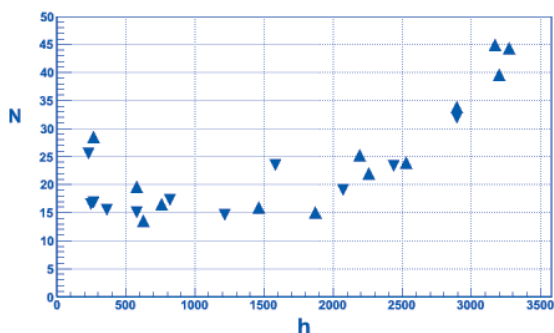
americké občanství a na zmíněné univerzitě působil až do r. 1958. Věnoval se zde kromě výuky studentů a doktorandů zejména metodám měření dávek radioaktivního záření v lidském těle i měřením radioaktivního spadu po výbuších atomových pum v Japonsku. V duchu svých raných výzkumů měřil spad jednak na vrcholu mrakodrapu Empire State a jednak v nejhlubších tunelech newyorské podzemní dráhy. Zemřel v Mount Vernonu v USA 17. 12. 1964. Hess byl zcela oddán vědě a myšlenkám demokracie a humanismu. Věnoval velkou péči svým studentům i spolupracovníkům, jimž byl trvalým příkladem svou čestností a charakterem [4].



Graf 1 Hessova měření závislosti  $q$  na převýšení  $h$  při 7. balonovém letu 7. 8. 1912. Veličina  $q$  udává aritmetický průměr měření ionizace vzduchu ze dvou shodných elektrometrů v jednotkách  $\text{ion}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$ . Trojúhelníky otočené vrcholem vzhůru vyznačují měření během stoupání balonu; s vrcholem dolů jsou měření při klesání balonu. Strmý nárůst hodnoty  $q$  při převýšení  $h$  nad 4 km je dobře patrný.



Obr. 6 Po startu balonu Bohemia 11. 10. 2006. Foto R. Šmída



Graf 2 Průměrové měření četnosti částic sekundárního kosmického záření  $N$  za minutu v závislosti na převýšení  $h$  (m) pomocí dvou Geigerových-Müllerových detektorů, získaná JG při balonovém letu 11. 10. 2006. Natočení trojúhelníků je stejné jako v předešlém grafu 1.

## DALŠÍ HODINA V BALONĚ

Již během třicátých let minulého století se zejména zásluhou Comptona [5] a Rossiho [6] ukázalo, že název kosmické záření není příliš výstižný, neboť jde ve skutečnosti převážně o elektricky nabitě částice, jako jsou protony, popř. elektrony či atomová jádra. Podíl energetických fotonů je zcela nízký. O toto poznání se patrně nejvíce zasloužil francouzský fyzik Pierre Auger (1899–1993), když v r. 1938 zjistil, že na povrch Země přichází fakticky sekundární kosmické záření, jež vzniká interakcí energetických primárních částic kosmického záření s molekulami zemské atmosféry. Pokud tedy dokážeme analyzovat takovou spršku vhodnými detektory, lze odtud mimo jiné odvodit pravděpodobnou povahu primární částice, která přiletěla z kosmu.

Z astronomického hlediska se však mnoho nezměnilo, protože elektricky nabitě částice podléhají změnám směru při letu chaotickými magnetickými poli mezi hvězdami a galaxiemi, takže ze směru přiletu k Zemi nelze určit polohu jejich zdrojů ve vesmíru. To pak neobvykle komplikuje nalezení vhodných fyzikálních pochodů, které neznámo kde dokáží ony částice urychlit na relativistické rychlosti, nedosažitelné ani v nejvýkonnějších po(d)zemních urychlovačích částic.

Když se však počátkem šedesátých let minulého století začaly objevovat částice s energiemi řádu 100 EeV [7], svítila astronomům mírná naděje. Při těchto energiích je totiž odchylka původního směru částice při přiletu k Zemi tak malá, že jí lze v prvním přiblížení zanedbat. Pokud se tedy získá statisticky významný soubor pozorování extrémně energetických částic, můžeme se pokusit o astronomickou identifikaci příslušných zdrojů, a pokud se to podaří, je napůl vyhráno. Úvahy o mechanismu urychlování takových částic tak dostanou experimentální základ a „prostřednictvím měření dospějeme k vědění“.

Z těchto úvah vyšli zakladatelé James Cronin z Chicaga a Alan Watson z Leedsu, když začali prosazovat myšlenku vybudování obří observatoře pro výzkum extrémně energetického kosmického záření, která nese jméno Pierra Augera a byla v letech 1999–2007 vybudována na Žluté pampě (*Pampa Amarilla*) v Argentině. Na její výstavbě se téměř od počátku podílí také postupně se rozrůstající skupina českých odborníků z pracovišť v Praze a Olomouci [8].

Když práce na výstavbě observatoře vrcholila, dožil se shodou okolností první z autorů tzv. významného životního jubilea. A druhý z autorů podpořil návrh českého týmu vyslat při té příležitosti jubilanta na svérázný zájezd – po vzoru praotce Hesse balonem do atmosféry. Přirozeně nemělo jít o kochání se pohledy na líbeznou českou zemi z ptáčích perspektivy, ale o svéráznou připomínku Hessova průkopnického měření. Po vyjednávání s firmou Bohemia balon, s. r. o., a střediskem pro řízení letového provozu byl pro tento „vyhlídkový let“ schválen výstup do výšky 3,5 km, kde by se podle Hessových výsledků měl již zřetelně projevit nárůst intenzity sekundárního kosmického záření a kde naopak ještě nejsou povinné kyslíkové dýchací přístroje – ostatně líčení zdravotních problémů tehdy daleko mladšího Hesse v rekordní výšce spolehlivě odradilo prvního autora od extravagantního nápadu tu výšku překonat. Hlavním problémem pro horkovzdušný balon *Bohemia* se ukázalo počasí. Celkem šestkrát jsme marně ujížděli na start v časných ranních hodinách, aby se po příjezdu na různá polní stanoviště v okruhu do 100 km od Prahy ukázalo, že kvůli silnému větru se startovat (a zejména pak přistávat) nedá.

Zdařil se teprve sedmý pokus (stejně jako Hessovi) za mírného větříku při jasné obloze a přízemní mlze ve středu 11. 10. 2006 v 7:47 h SELČ z polního letiště v Kolině (viz též obr. 2). Balon pilotoval Luděk Křížek a kromě prvního autora se v gondole nacházela ještě novinářka Olga Franzlová, která pořizovala snímky a chystala o letu vlastní reportáž (obr. 5). Na palubě (obr. 7) byl jak výškoměr a teploměr, tak také následující přístroje: elektroskop s ebonitovou tyčí a liščím ohonem (NTM Praha a ZČU Plzeň), dozimetr (ÚČJF MFF UK) a dva Geigerovy-Müllerovy čítače (FZÚ AV ČR).

Brzy po startu (obr. 6) bylo zřejmé, že jediné G-M čítače dají reprodukovatelné výsledky. Po Hessově vzoru byly měřeny referenční hodnoty počtu impulzů za časovou jednotku před startem a po přistání na zemi (start v nadmořské výšce 267 m při teplotě 9 °C; přistání u Nymburka v 8:55 h ve výšce 232 m při teplotě 12 °C). Odečítání impulzů na G-M čítačích probíhalo podle možnosti ve třiminutových intervalech. Balon stoupal a klesal téměř konstantní rychlostí s výjimkou letové hladiny 2,2 km, kde bylo potřeby čekat, než letiště v Čáslavi předá sledování balonu letišti v Ruzyni. Maximální výšky 3 280 m balon dosáhl půl hodiny po startu (obr. 8), takže relativní převýšení činilo 3,0 km.

Výsledky měření obou čítačů jsou znázorněny v grafu 2, vzestupná a sestupná měření jsou překlopena na sebe. Po 94 letech se tak podařilo přímo na české půdě a s balonem téměř shodného jména, avšak zcela odlišnou metodou měření potvrdit, že Viktor Hess měřil správně i dostatečně přesně a korektně interpretoval výsledky měření. Způsobil tím nepřímo, že studium kosmického záření má ve střední Evropě nejdelší tradici na světě (ačkoliv jeho rodné Rakousko se na současném projektu Pierra Augera nepodílí).

## EPILOG

Životní příběh Viktora Hesse je bohužel velmi typický pro turbulentní časy Evropy 20. stol., která během jeho života zrodila dvě světové války a následkem toho nezměrné utrpení a perzekuci obyvatelstva mnoha vyspě-



Obr. 7 Start v Kolině (vlevo od koše A. Švejda). Foto R. Šmida

lých i koloniálních zemí. Tím více vyniká jeho pracovní nasazení a odvaha i vytrvalost, s jakou překonával překážky, které ho nakonec přivedly k tak velkolepému objevu. Dnešní generace mladých fyziků však může právě z této historie získat inspiraci pro svou vlastní práci a – jak ukazuje příklad české účasti v projektu Pierra Augera – příležitost podílet se na vrcholném bádání v perspektivní oblasti rychle se rozvíjející astročásticové fyziky.

## Poděkování

Sehnat po více než devadesáti letech starobylé přístroje pro napodobení Hessova experimentu nebylo vůbec jednoduché: první z autorů děkuje Ing. A. Švejdovi z Národního technického muzea v Praze za dlouhodobé zapůjčení křehkého lístkového elektroskopu a RNDr. M. Randovi, Ph.D., z katedry obecné fyziky ZČU v Plzni za vyhledání odolné ebonitové tyče. Dozimetr poskytl Dr. D. Nosek z Ústavu částicové a jaderné fyziky MFF UK. Velký dík patří rovněž pracovníkům I. sekce Fyzikálního ústavu AV ČR, SLO FZÚ a UP v Olomouci i D. Noskovi za finanční a morální podporu balonového letu v r. 2006. Děkujeme též majitelce firmy Bohemia balon, s. r. o., E. Bradové a pilotovi L. Křížkovi, kteří velmi ochotně vycházeli vstříc požadavkům na průběh letu, což usnadnilo redukci měření. Zvláštní poděkování patří jubilantovi prof. M. Černohorskému, který prvního z autorů přesvědčil před 54 lety, že cesta k vědě vede přes pečlivě zpracovaná měření.

## Literatura

- [1] T. Wulf: Phys. Z. **10**, 152 (1909).
- [2] V. F. Hess: Phys. Z. **13**, 1084 (1912).
- [3] V. F. Hess: *Unsolved problems in physics: tasks for the immediate future in cosmic ray studies*. Nobel Lectures (1936).
- [4] G. Federmann: *Viktor Hess und die Entdeckung der Kosmische Strahlung*, <http://www.federmann.co.at/vfhess>, (2002).
- [5] A. H. Compton: Phys. Rev. **43**, 387 (1933).
- [6] B. Rossi: Phys. Rev. **45**, 212 (1934).
- [7] J. Linsley: Phys. Rev. Lett. **10**, 146 (1963).
- [8] Česká skupina projektu Auger, <http://www-hep2.fzu.cz/Auger/cz/>, (2007).

## PRŮŘEZ ČESKOU A SLOVENSKOU LITERATUROU O KOSMICKÉM ZÁŘENÍ:

- F. Běhounek: „Původ penetrantního záření atmosféry (Hessových paprsků).“ Čas. pěst. math. fys. **55**, 266 (1926).
- V. Santholzer: „Měření intensity pronikavého (kosmického) záření ve velkých výškách. (Pokusy Regenerovy).“ *Rozhledy matematicko-přírodovědecké* **12**, R91 a R109 (1932/33).
- J. Pernegr, V. Petržílka, L. Tomášková: *Kosmické záření*. NČSAV, Praha 1953.
- V. Vanýsek: *Základy astronomie a astrofyziky*. Academia, Praha 1980, s. 423.
- J. Dubinský, K. Kudela: *Kozmické žiarenie*. Veda, Bratislava 1984.
- V. Hajko a kol.: *Fyzika v experimentoch*. Veda, Bratislava 1988, s. 380.
- M. Bednář: „Kosmické záření - trvale významný zdroj informací pro fyziku částic“, Čs. čas. fyz. **49**, 95 (1999).
- P. Mansch: „Zachytáváme kosmické paprsky o nejvyšších energiích“, Čs. čas. fyz. **49**, 96 (1999).
- M. Boháčová: „Kosmické záření. Od balonových výstupů k částicovým detektorům“, *Vesmír* **79**, 387 (2000).
- J. W. Cronin: „Kosmické paprsky: nejenergetičtější částice ve vesmíru“, Čs. čas. fyz. **50**, 427 (2000).
- L. Rob: „Devadesát let kosmického záření“, Čs. čas. fyz. **52**, 141 (2002).
- různí autoři: „Současnost a budoucnost výzkumu ve Fyzikálním ústavu AV ČR“, Čs. čas. fyz. **55**, 303 a 361 (2005).
- D. Nedbal, L. Rob: „Objev zdrojů kosmického záření v experimentu HEES“, Čs. čas. fyz. **57**, 350 (2007).

\* Jednalo se o přílohu Čas. pěst. math. fys. zaměřenou na střední školy. V knihovně čtenář obvykle nalezne *Rozhledy matematicko-přírodovědecké* svázané v příslušném ročníku Čas. pěst. math. fys.



Obr. 8 Vzduchoplavec JG ve výšce 3 km nad zemí. Foto O. Franzlová