

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

F. I. Fedorov; Jan Horský; N. V. Mickevič; J. S. Vladimirov  
150 let od narození Ernsta Macha

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 33 (1988), No. 1, 14--19

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139599>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1988

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

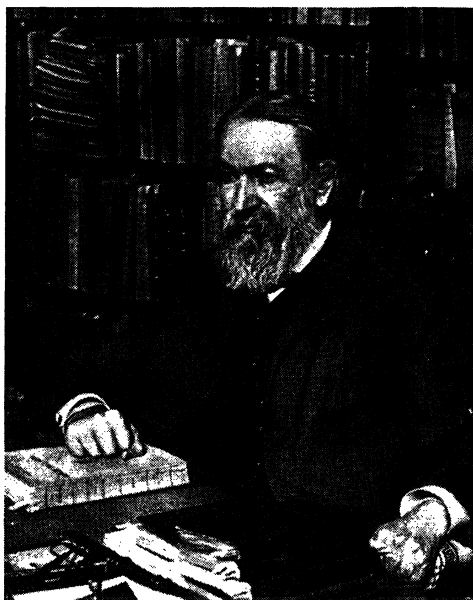
- [9] MERCIER A.: *Science and art in Physical Reality and Mathematical description*. ENZZ C. P. and MEHRA J. ed., D. Reidel Pub. Comp., Dordrecht, 1974, p. 3—22.
- [10] POE E. A.: *Filosofie básnické skladby*. Olomouc 1932.
- [11] BAUGH A. C.: *A History of the English Language*. Appleton-Century — Crofts, Inc., New York 1972.
- [12] Sborník *Dialogy* 5, 52—62, Brno 1986 red. M. ČERNOHORSKÝ, M. FOJTÍKOVÁ, J. JANÁS.

## 150 let od narození Ernsta Macha

*F. I. Fedorov, J. Horský, N. V. Mickevič, J. S. Vladimirov*

Ernst Mach patří k plejádě vynikajících vědců, kteří ve druhé polovině 19. a na začátku 20. století dospěli na hranice současných vědy a vytvářeli novou fyziku. Ernst Mach patřil ještě do řady univerzálních fyziků, kteří přímo ve své práci spojovali teorii s experimentem. Není jednoduché říci, zda těžiště jeho práce ve fyzice leží více v oblasti experimentální než teoretické fyziky. Lze však tvrdit, že centrum jeho bádání v oblasti teoretické fyziky leží v oblastech jejích principů. Svým kritickým rozumem a nezávislostí svých úsudků E. Mach velmi přispěl k tomu, aby se odhalily slabé stránky dřívějších koncepcí. To vůbec nebylo snadné, neboť dřívější koncepcce byly silně osvětlovány tradicemi a byly spojeny s velkými jmény.

Ernst Mach se narodil 18. 2. 1838 v Chrlicích u Brna (nyní již součástí obvodu Brno IV). Jeho matka byla dcerou správce biskupského panství, Machův otec působil na zámečku i jako dočasný vychovatel. Často bývá Machův otec charakterizován jako paličák a snílek. Ernst Mach studoval na gymnáziu v Kroměříži, kde maturoval v roce 1855. V téže roce odjel do Vídně, kde na univerzitě studoval především matematiku a fyziku. Titul doktora filozofie z těchto věd zde obdržel v r. 1860. V letech 1861—1864 zastával místo soukromého docenta vídeňské univerzity, v letech 1864—1867 byl profesorem matematiky a fyziky na univerzitě v Grazu (Štýrském Hradci). Zde se oženil r. 1867 a ještě v téže roce odjel do Prahy, kde byl jmenován profesorem experimentální fyziky Univerzity Karlovy. Zde působil až do roku 1895, tedy plných 28 let. V čele pražské univerzity stál Mach jako



rektor dvakrát, poprvé v letech 1879/1880 a podruhé v letech 1883/1884. V roce 1895 se E. Mach vrací na vídeňskou univerzitu, kde je jmenován profesorem filozofie „specielně teorie a historie induktivních věd“. Výron krve do mozku v r. 1898 způsobil trvalé ochrnutí pravé poloviny jeho těla, v r. 1901 odchází E. Mach do důchodu. Ve Vídni zůstal až do roku 1913, kdy se přestěhoval ke svému synovi do Vaterstättenu u Mnichova a zde umírá 9. 2. 1916. Podrobnější informace může čtenář načerpat např. v [1], [2], [3], [4].

Když se seznámíme s vědeckým dědictvím E. Macha, do očí bije mnohostrannost jeho činnosti dovolující mluvit o Machovi jako fyzikovi teoretikovi, fyzikovi experimentátorovi, fyziologovi, filozofovi. Obšrná kritika Machových filozofických názorů je uvedena v [5], přehled výsledků fyziologických studií lze nalézt např. v [1].

V této práci se omezíme na sledování Machova dědictví jako fyzika; ve shodě s našimi vědeckými zájmy budeme hlavní pozornost věnovat jeho přínosu k rozvoji teoretické fyziky. Zdůrazněme, že tento přínos je v základě určen Machovou hlubokou analýzou nezákladnějších pojmů a koncepcí teoretické fyziky, zejména teorie fyzikálního prostoru a času. Nemnozí mohli v Machově době chápat význam takové analýzy. Její význam charakterizuje v [6, str. 28 – 29] A. Einstein takto: „Pojmy, které se ukazují býti užitečnými při uspořádávání věcí, lehce v nás získávají takovou autoritu, že zapomínáme na jejich pozemský původ a přijímáme je jako něco neměnně daného. V tomto případě jim říkáme „logicky nutné“, „apriorně dané“ atd. Podobné omyly často nadlouho zatarasí cestu vědeckému pokroku. Proto není prázdnou zábavou analýza dávno námi užívaných pojmů, stejně tak jako není prázdnou zábavou odhalení okolností, na nichž závisí jejich zdůvodněnost, vhodnost i to, jak z dané zkušenosti takové pojmy vznikají. Taková analýza dovede podrýt nadměrně velkou autoritu těchto pojmů. Takové pojmy budou odvrženy, jestliže se nepodaří je určitým způsobem platně zdůvodnit, budou opraveny, jestliže ne zcela přesně odpovídají daným věcem a budou zaměněny jinými, jestliže je nutno vytvořit novou, v nějakých ohledech přednostnější soustavu.“ Pokusíme se charakterizovat základní momenty Machovy analýzy, které si zachovaly svoji aktuálnost i v naší době:

I. Je známo, že se historicky vytvořily dva přístupy k prostoru a času: relační a substanciální. Z hlediska relační koncepce „nejsoú prostor a čas zvláštní substanciální podstaty, ale jsou to formy existence materiálních objektů“ [7]. Mach ve svých pracích hájil relační koncepci a rozvíjel ideje pocházející od Aristotela a od Leibnize. Alternativní koncepcí prostoru a času je koncepce substanciální. Za její velké mluvčí lze považovat W. Clifforda a J. Wheelera. Podle názoru Wheelerovy školy lze všechny známé částice uvažovat jako nějaké specifčnosti nebo projevy prvotnějšího (substanciálního) prostoročasu. Podobné hledisko se uplatňuje v řadě současných prací zabývajících se hledáním takovýchto řešení podobných částicím např. rovnic Einsteinových či Maxwellových. V rámci relační koncepce se podstata těchto úloh vidí ve zcela jiném světle. Za přívržence relační koncepce v současné době lze považovat např. R. Feynmana a F. Hoyla. Rozhodnutí ve prospěch toho nebo druhého přístupu může být vyneseno jen dalším rozvojem fyziky. Je zřejmé, že přijetí jedné nebo druhé koncepce určuje formulaci řady závažných fyzikálních úloh i směrů teoretického výzkumu obecně.

II. V současné teoretické fyzice se široce posuzuje tzv. Machův princip [8], [9], přitom existují různé jeho formulace a chápání. Podle Machových názorů představuje fyzikální svět celek, takže vlastnosti jeho jednotlivých částí, které jsou obvykle chápány jako lokální (příslušející odděleně vzatým soustavám), jsou ve skutečnosti podmíněny rozložením a vzájemným působením všech hmotností světa, globálními vlastnostmi Vesmíru. V [10, str. 58] Mach píše: „Příroda nezačíná od elementů, s nimiž jsme nuceni začínat my. Máme ale štěstí, když se nám na jistou dobu podaří odvrátit pohled od obrovského celku a soustředit se na jeho jednotlivé části. Nesmíme však zapomenout ihned znovu zkoumat to, co jsme nevezali prozatím v úvahu, a vnést doplňky a opravy.“ Tuto koncepci Mach rozšířil na prakticky všechny fyzikální pojmy a jevy, které byly zkoumány v jeho době. Odtud patrně pochází různost chápání Machova principu. Jedním z nejčastěji potkávaným zněním Machova principu je tvrzení o podmíněnosti setrvačných hmotností těles rozložením ostatních hmotností ve Vesmíru [9], [11]. V současné době se tento princip v obecně přijaté teorii nerealizuje, jsou však podnikány vytrvalé pokusy dosáhnout jeho splnění v jiných rozvíjených teoriích prostoru a času. Zdůrazněme, že Machovy ideje byly povýšeny na roveň principu A. Einsteinem v jeho práci [12, str. 613].

III. Ernst Mach ještě před vytvořením speciální a obecné teorie relativity vysoko ocenil a jasně charakterizoval revoluční práce v geometrii provedené N. Lobačevským, J. Bolyaiem, K. Gaussem, B. Riemannem a jinými. Svou autoritou podpořil tento směr bádání a předpověděl mu velkou budoucnost. Ve svém článku z r. 1903, který se stal součástí jeho knihy *Poznání a omyl*, E. Mach napsal: „Celý rozvoj vedoucí k převratu v chápání geometrie je třeba považovat za zdravý a silný pohyb. Byl připravován staletími, značně zesílil v naše dny, nikterak ho nemůžeme považovat za již ukončený. Naopak lze očekávat, že tento pohyb přinese ještě bohatší“ [10, str. 82].

IV. Je známo, že když A. Einstein vytvářel obecnou teorii relativity, byl přesvědčen o tom, že realizuje Machovy ideje. Einstein málokoho citoval, podíváme-li se však na jeho práce z tohoto období, vidíme, že v mnoha z nich jsou buď odkazy na Macha, nebo se připomínají jeho ideje. O tom též svědčí Einsteinův dopis Machovi z 25. 6. 1913. Einstein, následně, v [6, str. 29] uvádí: „Co se mne osobně týče musím říci, že mi, přímo nebo nepřímo, zvláště pomohly práce Humeho a Macha“. Navíc poznamenává: „Uvedené řádky ukazují, že Mach jasně chápal slabé stránky klasické mechaniky a nebyl dalek toho, aby dospěl k obecné teorii relativity, a to o půl století před jejím vytvořením. Je velmi pravděpodobné, že Mach by dokázal vytvořit obecnou teorii relativity, kdyby v té době, kdy byl ještě mlád duchem, znepokojovala fyziky otázka o tom, jak je třeba chápat konstantnost rychlosti světla. Protože chyběl zájem o fakt konstantnosti rychlosti světla, který vyplývá z Maxwellovy-Lorentzovy elektrodynamiky, byla Machova potřeba kritiky nedostačující. Nedostačující k tomu, aby Mach pocítil nutnost definování současnosti prostorově oddělených událostí“ [6, str. 31].

V. Vzhledem k tomu, co bylo uvedeno, je zajímavé, že Mach se stavěl záporně k rodící se obecné teorii relativity [1]. Čím to lze objasnit? Pokročilým Machovým věkem v jehož důsledku již Mach nebyl schopen ocenit Einsteinem vytvářenou teorii?

Nebo jinými příčinami? Brzy se ukázalo, že v obecné teorii relativity není Machův princip obsažen. Einsteinovy gravitační rovnice mají vakuová řešení, podle obecné teorie relativity jsou možné prostoročasové variety i za nepřítomnosti budící hmotnosti. Též je známo, že Einstein po jisté době změnil svůj vztah k Machovu principu a k Machovým idejím. Napsal: „Podle Machova názoru musí mít setrvačnost ve vskutku racionální teorii, podobně jako jiné newtonovské síly, původ ve vzájemném působení hmotností. Tento názor jsem považoval dlouhou dobu v principu za správný. Implicitě však tato Machova představa předpokládá, že teorie, na které je vše založeno, musí patřit k témuž obecnému typu jako newtonovská mechanika: základními pojmy v ní musí být hmotnosti a interakce mezi nimi. Z toho není obtížné rozpoznat, že takovýto pokus o řešení není v souladu s duchem teorie pole“ [6, str. 268]. Toto tvrzení dává možnost konstatovat, že se zde zřejmě projeví principiální rozdíly mezi představami o působení na dálku v Machově obrazu světa a principem působení na blízko, na němž je založena obecná teorie relativity jakožto teorie pole.

VI. Nyní lze upozornit na dlouhé protivenství dvou koncepcí ve fyzice: působení na dálku, působení na blízko. Počátek lze hledat u Newtona. Po Maxwellových pracích z teorie elektromagnetického pole a po vytvoření obecné teorie relativity se zdálo, že koncepce teorie působení na blízko ve formě teorie pole dosáhla konečného vítězství. Počínaje pracemi A. Fokkera, H. Tetrode, J. Frenkela z dvacátých let našeho století dochází však k rozvoji tzv. přímého mezičásticového působení v rámci koncepce působení na dálku. Ve čtyřicátých letech bylo v pracích R. Feynmana, J. Wheelera ukázáno, že může být vybudována teorie přímého mezičásticového elektromagnetického působení. Ve svých závěrech je tato teorie ekvivalentní Maxwellově teorii elektromagnetického pole. Podstatným prvkem, který odstranil potíže s rovnoprávností retardovaných a avansovaných potenciálů v dřívějších pracích Fokkerových, je idea o tzv. absolutním absorberu. Ukázalo se, že „obecně přijímaný“ přístup v teorii pole vedoucí k odstranění avansovaných potenciálů může být v rámci působení na dálku objasněn působením celého ostatního Vesmíru – v plné shodě s Machovými názory. Avšak nejen to, působením celého ostatního Vesmíru může být v takové elektrodynamice objasněna i známá síla radiačního tření.

VII. Přibližně od šedesátých let se začala rozvíjet i teorie přímého mezičásticového gravitačního působení. Nejprve se tuto teorii podařilo vybudovat pomocí analogie s elektrodynamikou v tzv. lineárním přiblížení, tj. v prvním přiblížení v rozvoji podle gravitační konstanty. Později v práci [13] bylo provedeno zobecnění na libovolný řád v rozvoji podle gravitační konstanty. Lze říci, že je možno zformulovat teorii gravitace ve tvaru, který více odpovídá Machovým idejím, než je tomu v obecné teorii relativity. V uvažovaných souvislostech je na místě upozornit na Narlikarovu práci v [11, str. 498], v níž autor sleduje uvažovanou problematiku v širším i specifickém kontextu.

VIII. Stručně poznamenejme, že Machovy ideje sehrály jistý, i když nepřímý vliv na rozvoj kvantové mechaniky. Při vytváření kvantové mechaniky se ukázalo nutným znovu podrobit analýze řadu zažitých představ klasické mechaniky. Speciálně šlo o možnost současného měření souřadnic, komponent hybnosti a momentu hybnosti částice. Obtíž

při vytváření idejí kvantové mechaniky ve dvacátých a třicátých letech i při osvojování si těchto idejí u dnešních studentů spočívá v tom, že při užívání pojmů souřadnice a hybnost částice „zapomínáme na jejich pozemský původ a přijímáme je jako něco neměnně daného“ – viz výše uvedený Einsteinův citát o podstatě Machem provedené analýzy.

IX. V současné době se v teoretické fyzice zkoumají vícerozměrné unitární teorie typu Kaluzy-Kleina. Rozpracovávají se fyzikální teorie v prostorech o pěti, šesti, deseti, jedenácti i o více dimenzích. Nejsou to abstraktní prázdné spekulace fyziků, ale reálné fyzikální teorie s konkrétními fyzikálními předpověďmi. Role a problematika dimenze prostoru tak nabývá v dnešní fyzice zásadního významu. V SSSR byly na toto téma vydány tři monografie [14], [15], [16]. V již připomenuté knize E. Macha *Poznání a omyl* z r. 1905 Mach otázku položil zcela jasně [10, str. 83]: „Proč je prostor třírozměrný?“ Inspirovající je další Machova úvaha z téže knihy [10, str. 81]: „Jestliže operujeme s abstraktními věcmi, ..., které vzhledem ke své podstatě nemohou být dané našim smyslům, nemáme více žádného práva nutně tyto věci uvažovat ve vztazích, v relativních polohách, odpovídajících eukleidovskému třírozměrnému prostoru naší smyslové zkušenosti.“ Soudobé modely unitárních teorií pole zkoumají způsoby popisu elementárních částic (kvarků, leptonů) právě v prostoro-časových varietách o vyšším počtu dimenzí, než jsou čtyři, jak uvedeno výše.

X. Bylo by možné poukázat na řadu dalších Machových fyzikálních idejí, kterými předběhl svoji dobu. Například v článku *Čas a prostor* (viz [17] str. 72) Mach položil otázku o možnosti narušení  $P$ -invariance v přírodě, která byla později ve fyzice slabých interakcí objevena.

Ernst Mach jako kterýkoli jiný vědec a člověk zabloudil a chyboval v řadě otázek. Uvedli jsme již, že na sklonku svého života nepřijal obecnou teorii relativity. Též je známo, že nepřijal představu o molekulové a atomové struktuře látek. O tom svědčí jeho diskuse a polemiky například s L. Boltzmannem [1]. R. Peierls k tomu uvádí [8, str. 92]: „Ohlédneme-li se zpět, řekneme asi, že zastánci atomové teorie projevíli více předvídatosti, když rozpoznali sílu nepřímých důkazů ve prospěch atomové myšlenky a očekávali, že rozhodující důkaz bude nakonec objeven. V žádném případě není pochyb o tom, že kdyby se byli Mach a ostatní vynikající odpůrci atomové teorie dožili našich dnů, uznali by ihned, že spor je vyřešen.“ Bylo by možné uvést řadu dalších příkladů Machova bloudění a chybování. Nejlepší odpovědi snad mohou být slova samotného Macha [10, str. 84]: „Ale i chyby lidí nezřídka bývají ve svých důsledcích plodnější než objevy jiných.“

Charakterizovat šíři Machových zájmů a výsledků v oblasti experimentální fyziky není vůbec jednoduché. Jisté je, že z Machových raných prací nelze vynechat ty, které se týkaly správné interpretace akustického Dopplerova jevu a sestrojení přístroje dodnes ve škole používaného k demonstraci tohoto jevu [18]. Ch. Doppler dospěl k objevu příslušného jevu v Praze v r. 1842 a problémy interpretace byly velmi aktuální [19]. Zvláště důležitou roli mají experimentální Machovy práce vztahující se k oblasti aerodynamiky a vzniku rázových vln. Mach zde vytvořil nesmírně udivující prostou experimentální techniku. Jeho fotografie letící střely a přitom vznikajícího čela rázové vlny jsou velkolepé. Hlavní Machova práce z této oblasti byla uveřejněna v r. 1885. Zde je poprvé

zaveden obecně známý parametr, který se od roku 1928 nazývá Machovým číslem  $M$ . Výraz pro sinus tzv. Machova úhlu získal Mach v r. 1886. Právě tyto Machovy práce jsou tím základem, o který se opírají výzkumy v mechanice kontinua, raketové technice, letectví a fyzice plazmatu.

Mezi vědci pracujícími u nás v 19. století byl Ernst Mach nepochybně největším fyzikem v Čechách a na Moravě. Vytvořil kolem sebe skutečnou fyzikální školu. Dokonce budovu i zařízení tehdy nově vytvořeného Fyzikálního ústavu ve Viničné ulici v Praze projektovali a prováděli pod jeho vedením [20]. Ernst Mach vychoval řadu vynikajících talentovaných českých fyziků, kteří prosluli svým působením na vysokých školách. Jmenujme alespoň tři z nich: Čeňka Strouhala, profesora experimentální fyziky Univerzity Karlovy, Čeňka Dvořáka, profesora fyziky na univerzitě v Záhřebu, Františka Kolářka, profesora teoretické fyziky Univerzity Karlovy. Znamé jsou Strouhalovy výsledky z akustiky, Dvořák upozornil Macha na práci, která ho přivedla k objevu rázových vln, Kolářek prověřil Maxwellovu teorii při popisu jevu disperze světla [19].

Jsmo si vědomi neúplnosti našeho rozboru příspěvku E. Macha jako fyzika. Z článku je však patrné, že jméno tohoto vědce stojí v úrovni jeho nejslavnějších vrstevníků. Jsmo přesvědčeni, že naše vědecká fyzikální veřejnost si dne 18. 2. 1988 s úctou připomene Ernsta Macha jako jednoho z velkých spolutvůrců nové fyziky.

## Literatura

- [1] BLACKMORE, J. T.: *Ernst Mach, his work, life and influence*. University of California Press, Berkeley, 1972.
- [2] NACHTIKAL, F.: *Arnošt Mach*. Elektrotechnický obzor 7 (1938) 97.
- [3] NOVÁK, V.: *Vzpomínky na profesora E. Macha*. Rozhledy matematickopřírodovědné 17 (1937 až 1938) 116.
- [4] HERNECK, F.: *Über eine unveröffentliche Selbstbiographie Ernst Machs*. Wiss. ZS Humboldt-Universität zu Berlin Gg. VI (1956/57) 209.
- [5] LENIN, V. I.: *Materialismus a empiriokriticismus*. Praha, Svoboda, 1975.
- [6] EJNŠTEJN, A.: *Sobranije naučnych trudov, t. 4*. Moskva, Nauka, 1967.
- [7] *Filosofija jestestvovanija*. Moskva, IPL, 1966.
- [8] PEIERLS, R. E.: *Zákony přírody*. Praha, Orbis, 1961.
- [9] *Gravitacija i otnositelnost*. Sborník statí. Moskva, Mir, 1965.
- [10] *Albert Ejnštejn i teorija gravitacii*. Moskva, Mir, 1979.
- [11] *Astrofizika, kvanty i teorija otnositelnosti*. Red. perevoda: F. I. FEDOROV. Moskva, Mir, 1982.
- [12] EJNŠTEJN, A.: *Sobranije naučnych trudov, t. 1*. Moskva, Nauka, 1965.
- [13] VLADIMIROV, JU. S., TURIGIN, A. JU.: *Teorija prjamogo mezčastičnogo vzaimodejstvija*. Moskva, Energoatomizdat, 1986.
- [14] MOSTEPANENKO, A. M., MOSTEPANENKO, M. V.: *Četyrazmernost prostranstva i vremeni*. Moskva—Leningrad, Nauka, 1966.
- [15] GORELIK, G. E.: *Počemu prostranstvo trechmerno?* Moskva, Nauka, 1982.
- [16] GORELIK, G. E.: *Razmernost prostranstv*. Moskva, Izd. MGU, 1983.
- [17] *Novyje idei v matematike*. Č. I., SPb, Obrazovanije, 1913.
- [18] *Dějiny exaktních věd v českých zemích do konce 19. století*. (Ed. L. Nový), Praha, NČSAV 1951.
- [19] *Physics and Prague*. (Ed. by J. JANTA and J. NIEDERLE), Praha, JČSMF, 1984.
- [20] VESELÝ, F.: *100 let Jednoty československých matematiků a fyziků*. Praha, SPN, 1962.