

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jaroslav Pachner

Machova kritika Newtonovy mechaniky a její další vývoj k Machovu principu

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 13 (1968), No. 5, 289--295

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137727>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1968

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>

Literatura

- [1] B. DELONG: *Základy elektronických metod v geodesii*. SNTL — Praha — 1952.
- [2] Z. NEVOSAD: Přednáška, VTU — 1959.
- [3] K. RINNER: Über die Reduktion grosser elektronisch gemessener Entfernungen. *Zeitschrift für Vermessungswesen* 1956 č. 2.
- [4] VELIČKO, VASILIEV, GOLOSOV: Izmerenie rasstojanij svetodalnomerom i opredělenije skorosti rasprostraneniya světa: *Geodes. i kartogr.* 1956 č. 1.
- [5] Geodezija i kartografija — r. 1960, č. 1 Moskva.

MACHOVA KRITIKA NEWTONOVY MECHANIKY A JEJÍ DALŠÍ VÝVOJ K MACHOVU PRINCIPU

JAROSLAV PACHNER, Praha

Obecná teorie relativity není jen moderní teorií gravitace, ale dává nám současně i určité výpovědi o tom, jak hmota a její rozložení ovlivňují strukturu prostoru a času. Nikdo dnes nepochybuje, že takové ovlivňování skutečně existuje, otevřenou otázkou však stále ještě zůstává, jak těsné je toto ovlivňování — zda je třeba tak těsné, že by bez hmoty nemohl existovat ani prostor a čas. Tato otázka, na niž má odpovědět soudobá fyzika, má prastarou historii. Vylíčit, jak odpovědi na ni závisely na soudobém stavu celého lidského poznání, není však jen vysoce zajímavá stránka z dějin přírodních věd, ale může nám pomoci — a v tom je právě význam historie přírodních věd pro jejich další vývoj — i při hledání konečné odpovědi.

Otázku o podstatě prostoru a času, o jejich nekonečnosti a neomezenosti a o jejich poměru ke hmotě se pokoušeli řešit ve svých filosofických spekulacích již první před-sokratovští myslitelé. Později, za doby rozkvětu řecké filosofie, vyslovil ARISTOTELES v dvanácté knize své *Metafyziky* názor, že hmota existovala v nekonečném prostoru stále, od nekonečnosti, a že próton kinún akinéton, první nehybný hybatel, vložil do chaotického stavu hmoty jen pohyb a kosmos, to jest plánovitý řád. S převzetím židovské víry ve stvoření světa vznikla v katolické filosofii nová otázka: Existoval prostor a čas již před prvním aktem stvoření? AURELIUS AUGUSTINUS zodpověděl tuto otázku na několika místech jedenácté knihy svých *Vyznání* zcela jasně a dodnes moderním způsobem myšlení: „Bez tvorstva (tj. v soudobé fyzikální terminologii: bez hmoty) nemohl ani čas existovat.“ Ve století Galilea, Keplera, Newtona najdeme u filosofů dvě protichůdná mínění. John LOCKE tvrdí v druhé knize svého *Essay Concerning Human Understanding*, který dokončil v r. 1687 a který byl vydán v r. 1690, že „existence hmoty není nikterak nutná pro existenci prostoru, právě tak jako není nutná existence pohybu nebo slunce pro existenci času, ačkoliv obvykle jím měříme

čas“.¹⁾ Naproti tomu George BERKELEY odmítá ve svém *Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge* v r. 1710 poprvé a potom v r. 1721 ve své latinské disertaci *De Motu* podrobněji a rozhodně Newtonův absolutní prostor a absolutní pohyb a navrhuje používat v mechanice výlučně relativního prostoru hvězdného nebo stálic a definovat pohyb a klid relativně k tomuto prostoru, protože tyto relativní pohyby a klid nejsou žádným způsobem rozeznatelné od absolutních.²⁾ Z tohoto krátkého přehledu můžeme učinit jen ten závěr, že filosofie sice dovede klást důležité otázky, není však nikterak schopna spolehlivě a s konečnou platností je zodpovědět. Obrátíme se proto k přírodním vědám vybudovaným na pozorování a experimentech.

Na konec definicí, ještě před pohybové zákony vložil NEWTON ve svých *Principiích* [1], vydaných v r. 1686, známé scholium, v němž definoval absolutní prostor a absolutní čas. Z rozboru rovnoměrných přímočarých pohybů vyplývá, že všechny jsou rovnocenné a žádnému z nich nelze dávat přednost, takže má smysl jen pojem relativního přímočarého a rovnoměrného pohybu. Naproti tomu známý pokus s vědrem vody zdá se svědčit ve prospěch reálné existence absolutní rotace. Aby prostor neměl duální strukturu, relativní pro rovnoměrné přímočaré pohyby a absolutní pro rotaci, byl Newton přinucen zavést do své mechaniky pojem absolutního prostoru, jenž „svou povahou a bez vztahu k zevnějším předmětům zůstává vždy stejný a nepohyblivý“ a v němž „absolutní, pravý a matematický čas sám ze sebe a ze své vlastní povahy plyne rovnoměrně bez vztahu k zevnějším předmětům“.

Z dopisů Newtonových Boyleovi a Bentleymu je patrné, že Newton velmi přemýšlel o podstatě gravitace a rychlosti jejího šíření. Dne 28. února 1678 nebo 1679, tedy 8 až 7 let před vydáním *Principií*, se v dopise Boyleovi Newton pokouší vysvětlit vzájemné přitahování těles působením éteru, který se skládá „z částí lišících se jedna od druhé svou jemností v nekonečném stupni“. Ještě zřetelnější jsou Newtonovy názory na gravitaci z jiného jeho dopisu, tentokrát adresovaného Bentleymu. Newton zde píše: „Je nepředstavitelné, že neoduševnělá hmota, neobdařená rozumem by měla bez prostřednictví něčeho jiného, co není hmotné, působit na jinou hmotu a ovlivňovat ji, jak tomu musí být, jestliže gravitace ve smyslu Epikurově je podstatnou vlastností tkvící ve hmotě. A to je důvod, proč jsem si přál, abyste mně ne-

¹⁾ V kap. 17, odst. 20 druhé knihy Locke píše: „...the existence of matter is noways necessary to the existence of space, no more than the existence of motion, or the sun, is necessary to duration, though duration used to be measured by it.“

²⁾ V § 54 své disertace *De Motu* Berkeley píše: „Porro quoniam pro diversitate loci relativi varius sit motus eiusdem corporis, quinimo uno respectu moveri, altero quiesceri dici quidpiam possit; ad determinandum motum verum et quietem veram, quo scilicet tollatur ambiguitas, et consolatur mechanicae philosophorum, qui systema rerum latius contemplantur, satis fuerit spatium relativum fixarum coelo, tanquam quiescente spectato, conclusum adhibere, loco spatii absoluti. Motus autem et quies tali spatio relativo definiti, commode adhiberi possunt loco absolutorum, qui ab illis nullo symptomate discerni possunt. Etenim imprimantur utcunqve vires, sint quicunque conatus, concedamus motum distingui per actiones in corpora exercitas; nunquam tamen inde sequatur, dari spatium illud et locum absolutum, eiusque mutationem esse locum verum.“

připisoval myšlenku o gravitaci vlastní hmotě. Že by gravitace mohla být hmotě vlastní, v ní vězíci a podstatná pro ni, takže jedno těleso může působit na jiné vzdálené těleso vakuem, bez prostřednictví čehokoliv jiného, takže by pomocí gravitace mohlo být přenášeno ovlivňování a síla z jednoho tělesa na druhé, je pro mne natolik absurdní, že nevěřím, že by na tuto myšlenku mohl připadnout člověk, jenž je schopen uvažování ve filosofických otázkách. Gravitace musí být důsledkem existence činitele působícího trvale podle určitých zákonů, avšak zda tento činitel je hmotný či nehmotný, to jsem ponechal úvahám svých čtenářů.“³⁾ Tato vlastní Newtonova slova staví do zcela jiného světla dnes rozšířený názor, že představa bezprostředního působení gravitace na dálku pochází od Newtona.⁴⁾ Z jeho dopisů můžeme též soudit, že Newton se pokoušel identifikovat stav absolutního klidu se stavem, v němž se nachází éter, protože však nebyl s to jej pokusy a pozorováním dokázat, omezil se ve svých *Principiích* jen na zkoumání účinků gravitace.⁵⁾ V každém případě svědčí Newtonova mechanika o tom, že je možno vybudovat dokonale logickou exaktní

³⁾ Vzhledem k důležitosti tohoto místa budiž zde uvedena i Newtonova vlastní slova: „It is inconceivable, that inanimate brute matter, should, without mediation of something else, which is not material, operate upon and affect other matter without mutual contact, as it must be, if gravitation, in the sense of Epicurus, be essential and inherent in it. And this is one reason why I desired you would not ascribe innate gravity to me. That gravity should be innate, inherent, and essential to matter, so that one body may act upon another at a distance through a vacuum, without the mediation of any thing else, by and through which their action and force may be conveyed from one to another, is to me so great an absurdity, that I believe no man, who has in philosophical matters a competent faculty of thinking, can ever fall into it. Gravity must be caused by an agent acting constantly according to certain laws; but whether this agent be material or immaterial, I have left to the considerations of my readers.“ [Works of Richard Bentley, (London 1838), Vol. 3, str. 210—211.]

⁴⁾ S myšlenkou, že gravitace se může šířit i prázdným prostorem, se ve skutečnosti setkáváme až v r. 1713 v COTESOVĚ předmluvě k druhému vydání *Principií*. Cotes zde nejprve dokazuje, že existuje-li tekutina vyplňující nebeský prostor, nemůže mít žádnou setrvačnost, a pak praví: „Ti, kteří by chtěli mít nebe naplněné tekutou látkou, avšak předpokládají, že tato látka nemá žádné setrvačnosti, sice slovy popírají vakuum, ale připouštějí je ve skutečnosti. Neboť jestliže tekutina tohoto druhu nemůže být rozlišena od prázdného prostoru, diskuse se týká pojmenování, nikoliv podstaty věci.“ Zcela jednoznačně vyslovuje tuto myšlenku Samue Clark v jedné z poznámek k pozdějším vydáním Rohaultovy fyziky, kde hovoří o „onom nezměřitelném prostoru, jenž je zbaven veškeré hmoty“.

⁵⁾ Toto své stanovisko Newton upřesnil v druhém vydání *Principií* (z r. 1713) třemi dodatky připojenými k textu z r. 1687: Ve Scholiu následujícím po Prep. LXIX v první knize ([1]-str.193), dále v třetí knize v Pravidlech o přemýšlení ve filosofii ([1]-str. 398—400) a konečně v Scholium Generale na konci třetí knihy ([1]-str. 543—547). Srv. i slova J. C. Maxwella: „We find in his „Optical Queries“ and in his letter to Boyle, that Newton very early made the attempt to account for gravitation by means of the pressure of a medium, and that the reason he did not publish these investigations proceeded from hence only, that he found he was not able, from experiment and observation, to give a satisfactory account of this medium, and the manner of its operation in producing the chief phenomena of Nature“... [Proc. Roy. Inst. of Great Britain (London 1873—1875), Vol. 7, str. 48—49.]

přírodní vědu, prostou vnitřních rozporů, na systému pojmů, jež částečně vyplývají z pozorování, částečně jsou nepozorovatelné a metafyzické povahy.

Zůstane proto vředycky velikou zásluhou Ernsta MACHA, že se pokusil po četných, často nedůsledných diskusích ([2] — str. 231 násl.) o Newtonově zákonu o setrvačnosti vybudovat celý systém mechaniky důsledně jen na pojmech plynoucích z pozorování a dokazatelných experimentálně. Všechny pohyby, jež Mach uvažuje ve své proslulé knize „*Die Mechanik in ihrer Entwicklung*“, jsou výlučně relativní pohyby, takže právem může psát ([2] — str. 222—223): „O absolutním prostoru a absolutním času nemůže nikdo nic říci, jsou to pouhé myšlenkové pojmy, s nimiž se ve skutečnosti nesetkáváme. Celé naše základy mechaniky jsou, jak bylo podrobně dokázáno, zkušenosti o relativních polohách a pohybech těles. Nemohou a nesmí být bez přezkoušení přijímány v oblastech, kde je dnes považujeme za platné. Nikdo není oprávněn tyto základy rozšířit přes hranice zkušenosti.“

Totéž stanovisko: „Nikdo není oprávněn tyto základy rozšířit přes hranice zkušenosti“, zaujímá Mach i vzhledem ke známému pokusu s vědrem vody, který podle Newtona je rozhodující pro zavedení absolutního prostoru. Mach píše ([2] — str. 225—226): „Uvažujme nyní o tom bodě, o němž se Newton, jak se zdá, s velkým právem opírá při rozeznávání relativního a absolutního pohybu. Jestliže Země koná absolutní rotaci kolem své osy, vznikají na ní odstředivé síly, je zplošťována, zrychlení na rovníku je sníženo, rovina Foucaultova kyvadla se stáčí atd. Všechny tyto jevy zmizí, jestliže je Země v klidu a ostatní nebeská tělesa se kolem ní absolutně pohybují, takže dochází k relativní rotaci. Tak je tomu ovšem, když od počátku vycházíme z představy absolutního prostoru. Zůstaneme-li však na půdě skutečnosti, víme jen o relativních prostorech a pohybech. Relativně jsou pohyby ve světovém systému. nepřihlížíme-li k neznámému a neuvažovanému prostředí světového prostoru, stejně jak ze stanoviska ptolemaiovského, tak i kopernikovského. Obě tato stanoviska jsou také stejně správná, jen s tím rozdílem, že kopernikovské je jednodušší a praktičtější. Světový systém nám není dán dvakrát, jednou s klidnou, podruhé s otáčející se Zemí, nýbrž jen jednou se svými jedině měřitelnými relativními pohyby. Nemůžeme tedy říci, jak by tomu bylo, kdyby se Země neotáčela. My můžeme jeden nám daný případ různě vykládat. Jestliže jej vykládáme tak, že se dostaneme do rozporu se skutečností, pak jej my vykládáme chybně.“

Machovo stanovisko k absolutnímu prostoru vystoupí ještě jasněji, srovnáme-li je s Berkeleyem. V disertaci *De Motu Berkeley* odmítá představu úplně prázdného prostoru, protože tento pojem po filosofické stránce nemá v sobě nic pozitivního, a je tedy identický s absolutním nic. V § 53 Berkeley píše: „Představme si, že všechna tělesa jsou zničena a v nic obrácena. To, co zůstane, je nazýváno absolutním prostorem, zbaveným spolu s oněmi tělesy všeho vztahu, jenž vychází z polohy a vzdálenosti těles. Prostor ten je nekonečný, nepohyblivý, nerozdělitelný, nevnímátný, bez vztahu a rozlišení. To jest, všechny jeho atributy jsou privativní nebo negativní: vidíme tedy, že je to pouhé nic.“ Naproti tomu Mach je pevně přesvědčen, že platnost našich fyzikálních zákonů je vázána na přítomnost a rozdělení vzdálené hmoty.

Jakou formu by tyto zákony měly, to právě nikdo neví. Mach se o tom zřetelně vyslovuje ([2] — str. 235): „Mně se zdá okolí, v němž žijeme, se svými téměř neproměnnými úhly směrů ke hvězdám jako navýsost zvláštní případ a neodvážil bych se z tohoto případu soudit na jiný, jenž by se od něho silně odlišoval. I když i já očekávám, že astronomická pozorování by vedla jen na malé korekce, přece jen považuji za možné, že zákon setrvačnosti ve své jednoduché newtonské formě má pro nás lidi jen místní a dočasný význam.“

Abychom si toto Machovo stanovisko ještě více přiblížili, uvažujme nyní laboratoř v prázdném prostoru, která podle údaje gyroskopu v ní umístěného je v klidu a potom podle údaje téhož gyroskopu je uvedena do rotace kolem své osy tangenciálním odpálením dvou pistolí. Je nemyšlitelné, že by se naše masivní laboratoř otáčela relativně k dvěma projektilům nepatrné hmoty; spíše musíme předpokládat, že se otáčí relativně k tělesům obklopujícím v dostatečné vzdálenosti rovnoměrně kolem dokola naši laboratoř, přičemž „dostatečná vzdálenost“ je určována žádanou přesností našich měření. Předpokládáme-li, že prostor není úplně prázdný, nýbrž že je prázdný jen v okolí laboratoře, zůstaneme jen tak na půdě zkušenosti a v plné shodě s Machem.

Pro EINSTEINA měla Machova myšlenka, že inerciální síly mají svůj původ v pohybu zrychleném relativně ke vzdáleným nebeským tělesům (klasická formulace Machova principu) mimořádný význam při výstavbě obecné teorie relativity [3]. Jeho naděje, že hmota zkušebního tělíska bude klesat k nule, když se tělísko bude vzdalovat ve Schwarzschildově poli od centrálního tělesa, a že rovnice obecné teorie relativity nebudou mít při nulové hustotě hmoty žádného prostorově v sebe uzavřeného řešení, se nevyplnily, a dokonce Thirringův jev se zdá svědčit ve prospěch absolutní rotace. THIRRING [4] vyšetřoval totiž už v r. 1918 teoreticky případ, kdy v nekonečném prázdném prostoru s metrikou asymptoticky v nekonečnu přecházející do pseudoeuclidovské se nachází masivní dutá koule. Jestliže se uvnitř ní otáčí kolem jejího středu zkušební tělísko, objeví se na něm podle očekávání odstředivé i Coriolisovy síly. Jestliže však zůstane toto tělísko v klidu a otáčí se dutá koule — jde tedy relativně o též druh pohybu — na tělísko začnou opět působit odstředivé i Coriolisovy síly, ale proti všemu očekávání mnohokrát nižší, úměrné jen podílu gravitačního poloměru duté koule k jejímu geometrickému poloměru. Proto byly učiněny pokusy zmírnit původní přísnou relativistickou formulaci Machova principu: „Bez hmoty neexistuje prostoročas.“ Přesto se autor pokusil v r. 1963 ukázat [5], že Machův požadavek zůstat vždy jen na půdě zkušenosti je možno uvést v souzvuk s právě uvedenou přísnou relativistickou formulací Machova principu.

Newtonův pokus s vědrem vody i v jeho pozměnění s rotující laboratoří, Thirringův jev, právě tak jako kvantové jevy svědčí o tom, že Newtonův absolutní prostor, nebo — ze stanoviska soudobé fyziky — pseudoeuclidovský prostoročas speciální teorie relativity, tj. „vakuum“ kvantových teorií vlnových polí, nemůže být jen ryze geometrickým pojmem, neboť jsou v něm obsaženy i fyzikální vlastnosti (srv. např. [6]). Existence fyzikální reality musí být však prokazatelná nenulovým údajem číselné

hodnoty vhodně k této realitě zvolené veličiny. Protože máme v daném případě co dělat se zdánlivým nic, může mít tato veličina jen tvar neurčitého výrazu $0 \times \infty$. Aniž bychom zde zacházeli do matematických úvah, postačí, uvedeme-li zde, že celkový objem homogenního a izotropního prostoru kladně zakřiveného je přímo úměrný třetí mocnině jeho poloměru zakřivení (což plyne z riemannovské geometrie), zatímco hustota hmoty rovnoměrně a izotropně rozložená je (podle rovnic obecné teorie relativity) nepřímo úměrná druhé mocnině poloměru zakřivení. Celková hmota obsažená v nekonečném pseudo-eukleidovském prostoru, jež považujeme za mezní případ Friedmanova modelu vesmíru s kladným zakřivením prostoru, je v tomto jednoduchém případě rovna součinu celého objemu a hustoty hmoty. Je tedy přímo úměrná první mocnině poloměru zakřivení, to znamená, že je nekonečná. Nyní chápeme, proč hmota zkušebního tělíska ve Schwarzschildově poli neklesá v nekonečné vzdálenosti od centrálního tělesa k nule, nýbrž se blíží asymptoticky jisté konečné nenulové hodnotě: Částice zůstává stále v gravitačním poli, jež je vytvářeno ve veliké vzdálenosti od centrálního tělesa rovnoměrně a izotropně rozloženou hmotou nulové hustoty, avšak nekonečné celkové hmoty.

Rozhodujícím ve prospěch názoru, že v případě Newtonova pokusu s vědrem vody a s jeho obměnou s rotující laboratoří jde skutečně o rotaci relativně k celkové hmotě vesmíru, je výsledek teoretického zkoumání H. HÖNLA a H. DEHNENA [7]. Ti dokázali, že odstředivé a Coriolisovy síly správné velikosti se objeví v každém vztažném systému, který se otáčí relativně k celkové hmotě Einsteinova nebo Friedmanova vesmíru. Thirringovy síly, tj. Coriolisovy a odstředivé síly, jejichž velikost je úměrná poměru gravitačního poloměru duté koule k jejímu geometrickému poloměru, jsou důsledkem současného působení otáčející se blízké koule a neotáčející se nekonečně velké hmotě Minkowského vesmíru (tj. prázdného prostoročasu s pseudo-eukleidovskou metrikou).

Zdá se, že proti této interpretaci Minkowského vesmíru by bylo možno namítnout, že de Sitterův model vesmíru je rovněž prázdný, bez sebe menší stopy hmoty, avšak přesto v něm prostor a čas existují. Musíme si ovšem uvědomit, že existence prostoročasu je v tomto modelu důsledkem zavedení nové univerzální přírodní konstanty, tzv. kosmologické konstanty, do rovnic pole. Je však absurdní se domnívat, že by univerzální přírodní konstanta mohla vytvářet prostoročas. Proto považuje autor [5] tuto kosmologickou konstantu za hustotu hmoty, resp. za negativní tlak, jež jsou vyjádřeny v geometrickém systému fyzikálních jednotek a dělené 8π . De Sitterův model vesmíru s nulovým zakřivením prostoru se tak stává identickým s McCreaovou verzí „steady-state universe“.

Jsou ovšem známa ještě další exaktní řešení Einsteinových rovnic pole bez kosmologické konstanty, v nichž všechny složky tenzoru energie a impulsu jsou rovny nule. Ve shodě s předloženou formulací Machova principu považujeme je za vzbuzené stavy Minkowského vesmíru, tj. za gravitační vlny v nekonečném prostoru s nulovou hustotou hmoty.

Je však třeba zdůraznit, že předložená interpretace prázdného prostoročasu s pseu-

doeukleidovskou metrikou jako vesmíru naplněného hmotou o nekonečné velikosti, ale nulové hustotě je zatím jen vědeckou hypotézou, přestože vysvětluje všechny jevy v plné shodě s Machovým přesvědčením, že inerciální síly mají svůj původ v pohybu zrychleném relativně ke vzdáleným hmotám vesmíru, a shoduje se i s původní Einsteinovou domněnkou, že bez existence hmoty nemůže existovat ani prostorčas. Aby se tato hypotéza stala prokázaným vědeckým poznatkem, bylo by třeba matematicky dokázat, že všechna zmíněná exaktní řešení Einsteinových rovnic, které považujeme za vzbuzené stavy Minkovského vesmíru, jsou limitními případy s nekonečným prostorovým objemem a s nulovou hustotou hmoty jiných řešení s konečným objemem a s nenulovou hustotou hmoty. Jestliže by se podařilo takový důkaz podat, dostali bychom též současně konečnou odpověď přírodovědecky podloženou, nikoliv jen odpověď plynoucí z nezávazných filosofických spekulací. Byla by to odpověď na prastarou otázku, co je to prostor a co je to čas. Ta odpověď by zněla: Jsou to složky Einsteinova gravitačního pole buzeného vzdálenými rovnoměrně a izotropně rozloženými galaxiemi.

Literatura

- [1] *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of World*, edited by Florian Cajori (University of California Press, Berkeley, 1960).
- [2] E. MACH, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung* (1. vyd. Praha 1883; odkazy se vztahují na 9. vyd. u fy. Brockhaus, Leipzig 1933).
- [3] A. EINSTEIN, *Ann. d. Physik* 49, 769 (1916). *The Meaning of Relativity* (4. vyd. Princeton University Press, 1953), str. 56, 100.
- [4] H. THIRRING, *Phys. Z.* 19, 33 (1918); 22, 29 (1921). L. BASS, F. A. E. PIRANI, *Phil. Mag.* 46, 850 (1955). H. HÖNL, A. W. MAUE, *Z. f. Physik* 144, 152 (1956).
- [5] J. PACHNER, *Phys. Rev.* 132, 1837 (1963).
- [6] W. HEISENBERG, *Acta Phys. Austriaca* 14, 328 (1961).
- [7] H. HÖNL, H. DEHNEN, *Z. f. Physik* 166, 544 (1962). H. DEHNEN, *Z. f. Physik* 166, 559 (1962).

Rozpouštěním některého alkalického kovu v čistém kapalném čpavku dostaneme kapalinu, jež má zvláštní vlastnosti. Zředěné roztoky jsou temně modré, koncentrovanější bronzově lesklé. Všechny se vyznačují vysokou, téměř „kovovou“ vodivostí. Výklad tohoto jevu je založen na představě tzv. solvatovaného elektronu, tj. elektronu obklopeného molekulami rozpouštědla s dipólovým momentem, který je uspořádán symetricky kolem centrálního elektronu. Podobná představa je známa z fyzikální chemie u solvatovaných iontů. Elektrické pole vzniklé uspořádáním okolních dipólových molekul způsobuje zpětně lokalizaci elektronu, jež však snadno může přeskociť do podobné soustavy vzniklé náhodně tepelným pohybem molekul rozpouštědla. Volný elektron je přitom velmi reaktivní, takže i v tekutém čpavku v přítomnosti nečistot rychle mizí. Nyní bylo zjištěno, že solvatovaný elektron existuje — ovšem jen velmi krátkodobě — i v jiných kapalinách (např. ve vodě), a to v podmínkách silného ozáření ionizujícími zářeními. Zdá se, že solvatovaný elektron má významnou úlohu v chemických procesech probíhajících při absorpci tohoto záření a tím patrně také při rozrušování živé tkáně, jde-li o vysoce energetické ozáření.

-XO-