

# Matematicko-fyzikálny časopis

---

Ivan Úlehla

O vzájomnom vzťahu hmotnosti a energie

*Matematicko-fyzikálny časopis*, Vol. 4 (1954), No. 2, 45--54

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/126897>

## Terms of use:

© Mathematical Institute of the Slovak Academy of Sciences, 1954

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>

## O VZÁJOMNOM VZŤAHU HMOTNOSTI A ENERGIE

I. ÚLEHLA

*(Výňatok z hlavného referátu predneseného na diskusii o vzájomnom vzťahu hmoty a energie, ktorá sa konala dňa 15. decembra 1953 v študovni Československo-sovietskeho inštitútu v Bratislave. Podrobnosti o diskusii prinášame v správach. Referent opierajúc sa o uznesenie Konferencie o nukleárnej fyzike a kozmickom žiarení, ktorú usporiadalo Laboratórium pre nukleárnu fyziku Československej akadémie vied v dňoch 28. septembra až 3. októbra v Domove vedeckých pracovníkov J. E. Purkyněho v Libliciach, fyzikálny pojem hmoty vyjadruje slovom „hmotnosť“ a slovo „hmota“ používa na označenie pojmu matérie, s čím sa však redakcia tohto časopisu nestotožňuje.)*

### ÚVOD

Fyzika je veda, ktorá sa zaoberá tými vlastnosťami hmoty, ktoré sú súčasne veľmi jednoduché a veľmi všeobecné. Všeobecnosť procesov skúmaných fyzikou pochádza z toho, že vo všetkých hmotných útvaroch nachádzame také jednoduché deje, ako je napr. mechanické premiestňovanie. Toto zvláštne postavenie fyziky ju veľmi približuje k filozofii, ktorá sa zaoberá najvšeobecnejšími vlastnosťami hmoty. Nie div, že sa fyzici veľmi často obracajú o pomoc k filozofii, k filozofickým úvahám. To môžeme sledovať u všetkých veľkášov fyziky — N e w t o n a, M a x w e l l a, P l a n c k a aj E i n s t e i n a. Pri odbornej práci vo fyzike nie je však jedno, akú filozofiu používame. Práve u veľkých fyzikov minulosti vidíme, koľko námahy im dalo prekonať najrozličnejšie predsudky a myšlienky vytvorené nevedeckými filozofickými smermi. Každá z nových veľkých fyzikálnych teórií sa rodila ťažko a pre mnohých fyzikov bolestne. Je celkom prirodzené, že pomoc fyzike môže priniesť len tá filozofia, ktorá je sama vedou.

Po prvý raz v histórii fyziky začína se vedome používať vedecká pomoc — marxistická filozofia v SSSR pri riešení fyzikálnych problémov. Sovietski fyzici v posledných rokoch prišli v niekoľkých diskusiách k riešeniu zásadných fyzikálnych otázok, s ktorými sa stretávame — k interpretácii kvantovej mechaniky, ku kritickému zhodnoteniu špeciálnej aj všeobecnej teórie relativity a k objasneniu vzájomného vzťahu medzi hmotnosťou

a energiou. Poslednej otázke venovali mimoriadnu pozornosť, lebo sa v nej nielen často robia veľké chyby, ale aj preto, že nesprávne výklady o vzájomnom vzťahu hmotnosti a energie používajú mnohí idealistickí ideológovia na „vyvrátenie“ vedeckého svetonázoru. Aj keď sa v sovietskej diskusii o vzájomnom vzťahu hmotnosti a energie vyskytli rozličné stanoviská, v podstate je už táto diskusia ukončená [1].

Vo filozofickej a fyzikálnej literatúre sa veľmi často zamieňa pojem hmotnosti s pojmom hmoty a pojem pohybu s pojmom energie. Popritom sa vyskytujú ešte aj ďalšie možné zámény týchto pojmov. Preto skôr ako prikročíme k výkladu výsledkov diskusie o vzájomnom vzťahu hmotnosti a energie, pokúsime sa objasniť pojmy hmoty a pohybu, hmotnosti a energie.

## I. HMOTA, POHYB, ENERGIA, HMOTNOSŤ

Pojmy hmoty, pohybu, hmotnosti a energie sa vo fyzikálnej, ako aj filozofickej literatúre používajú v najrozličnejšom zmysle. Práve táto nejednoznačnosť, s akou sa používajú, vedie k vážnym ideologickým chybám a niekedy je dokonca zámerne využívaná na dokazovanie správnosti idealistických filozofických názorov.

*Pojem hmoty* sa vyvíjal ako každý iný pojem. Koncom XVIII. a začiatkom XIX. storočia ustálil sa v prírodných vedách a v materialistickej filozofii názor, že hmota je to, čo sa skladá z molekúl a atómov. Tento názor na obsah pojmu hmota sa v podstate udržal až do dnešných čias vo fyzike v kapitalistických krajinách a aj u mnohých našich fyzikov, hoci bol na začiatku tohto storočia vyvrátený. S postupujúcim rozvojom fyziky došli fyzici na prelome XIX. a XX. storočia k záverom, ktoré sa nedali zrovnáť s ich predstavami o hmote. Na základe Lorentzovej teórie elektromagnetického poľa vytvorila sa elektromagnetická teória hmoty. Táto teória, o ktorej sa ukázalo, že je nesprávna, je historicky významná tým, že bola prvým pokusom o vysvetlenie všetkých vlastností hmoty na jednotnom podklade — elektromagnetickom poli. Medziiným sa táto teória pokúsila aj o vysvetlenie zotrvačných vlastností elektrónu. Podľa nej sú elektróny, atómy atď. len prejavom alebo stavom elektromagnetického poľa a teda aj všetky ich vlastnosti vyplývajú z vlastností elektromagnetického poľa. Táto teória mala pre zmýšľanie fyzikov nesmierny dosah. Fyzici totiž nielenže v tom čase nepovažovali elektromagnetické pole za hmotné, ale zistili — možno povedať priamo experimentálne — že neexistuje hypotetický éter, nositeľ elektromagnetických dejov. Tak odrazu došla fyzika k prekvapujúcemu výsledku: Elektromagnetické pole je proces alebo pohyb sám osebe, ktorý nemá nijakého nositeľa, hmota je prejavom tohto nehmotného poľa — tohto pohybu. Hmota ako základ sveta zmizla,

ostal len pohyb, zmena, na ktorú sa hmota premenila. Mnohí fyzici prepadli idealizmu. Lenin r. 1908 v *Materializme a empiriokriticizme* dôkladne vysvetlil celý tento problém, na ktorý narazila fyzika. Lenin ukázal na chybu, ktorú urobili fyzici vo svojich úvahách. Oni si totiž vytvorili určitý obraz o štruktúre hmoty a o vlastnostiach hmoty. Teraz sa ukázalo, že tento obraz nie je správny. Namiesto toho, aby ho nahradili iným, opustili často materialistickú základňu vedy s tvrdením — hmota zmizla! Zatiaľ, pravda, zmizla len ich predstava o hmote.

Ako ukázal Lenin [2], jedinou „vlastnosťou“ hmoty, s uznávaním ktorej je spojená vedecká materialistická filozofia, je existovať nezávisle od nášho vedomia. *Vedomie nie je schopné vytvoriť ani zničiť hmotu.* Vedecká materialistická základňa nespočíva na nejakom predpísanom obraze o hmote. Úlohou vedy je poznávať hmotu a rozširovať naše vedomosti o jej štruktúre a vlastnostiach. Je pochopiteľné, že sa naše poznanie hmoty bude s rozvojom vedy rozširovať, že sa naše predstavy o hmote budú meniť.

Nie sú teda hmotné len molekuly a atómy a predmety z nich zložené, ale aj elektromagnetické pole je hmotné, lebo existuje nezávisle od nášho vedomia a môže existovať aj tam, kde nie sú molekuly a atómy. Nesprávne sa teda elektromagnetické pole pokladá za púhy proces, púhu zmenu, dej — za niečo nehmotné.

Od Newtonových čias kryštalizoval sa vo fyzike a filozofii *pojmem pohybu*. Fyzika i filozofia — okrem nepatrných výnimiek — poznali do polovice minulého storočia len jeden druh pohybu — pohyb mechanický, premiestnenie telesa, predmetu, molekuly, atómu. Toto poňatie pohybu udržalo sa zasa až dodnes prakticky vo všetkých učebniciach fyziky a v mysliach fyzikov, hoci vedecká filozofia pojem pohybu už dávno rozšírila. Veď všetko, čo v prírode i v spoločnosti skúmame, ustavične sa mení a pohybuje, a bolo by veľmi smelé a nakoniec nesprávne považovať všetok tento pohyb za pohyb mechanický. *Pod pohybom rozumieme akúkoľvek zmenu, ktorá sa vo svete odohráva.*

Prírodné aj spoločenské vedy si ustavične overujú skutočnosť, že nikde a nikdy nenachádzame hmotu, ktorá by sa nepohybovala, nemenila. Hmota sa naopak ustavične mení, ustavične sa pohybuje. Jej pohyb je jej neoddeliteľným atribútom. Vedecká filozofia zovšeobecňujúc tento poznatok, hovorí: *hmota nie je schopná existovať ináč než v ustavičnom pohybe.*

Súčasne prírodné vedy zisťujú, že pri všetkých procesoch v prírode dochádza k neustálej premene jedného druhu pohybu na iný, tepelného na mechanický, chemického na elektrický a pod. Pri týchto premenách, ako nás učia zákony zachovania, tam, kde sa jeden pohyb stráca, vzniká na jeho mieste iný pohyb. Zákon zachovania impulzu, zákon zachovania energie, zákon zachovania momentu impulzu, zákon zachovania náboja a ostatné zákony zachovania sú špeciálnymi vyjadreniami všeobecného

zákona, zákona o nezničiteľnosti a nestvoriteľnosti pohybu, formulovaného E n g e l s o m [3].

Fyzika používa celý rad mier alebo fyzikálnych veličín, ktorými charakterizuje jednotlivé stránky pohybu hmoty, ktoré skúma. Rýchlosť je veličina charakterizujúca určitú stránku mechanického pohybu, tlak plynu je iná veličina charakterizujúca jednu zo stránok „tepelného pohybu“, elektrická a magnetická intenzita charakterizujú zmeny v elektromagnetickom poli, vlnová funkcia je objektívnou charakteristikou pohybu mikročastíc atď. Medzi týmito rozličnými veličinami, ktorými fyzika charakterizuje uvedené jednoduché pohyby, hrá veľmi význačnú úlohu *energia*. Energia je význačnou veličinou preto, že sa zachováva, že je „invariantná“ voči všetkým známym premenám pohybov skúmaných fyzikou i preto, že pre každú fyzikálnu sústavu má táto veličina význam. Hoci *energia je veľmi všeobecnou charakteristikou alebo mierou pohybu*, je len jedným z pojmov, ktorými zobrazujeme fyzikálne pohyby. Energia elektromagnetického poľa je zaiste významnou veličinou, nemôžeme však z nej odvodiť všetky vlastnosti elektromagnetického poľa.

Hovorí sa: svetlo je energia — alebo dokonca: čistá energia. Toto tvrdenie je nesprávne, lebo energia je mierou alebo charakteristikou pohybu. Svetlo nie je mierou, nie je pojmom, existuje objektívne a nezávisle od nás. Nemôže byť energiou, lebo energia je obrazom určitej stránky pohybu v našom vedomí. Ti, ktorí hovoria o tom, že svetlo je energia, možno niekedy používajú termín energia aj v inom význame. Označujú ňou taký pohyb, ktorý je nie mechanický. Ale aj v tomto zmysle je veta: svetlo je energia, nesprávna, lebo predpokladá, že pohyb — v ich vyjadrení energia — môže existovať nezávisle od hmoty, môže byť od nej odtrhnutý. Keby to tak bolo, potom by bolo možné nájsť hmotu, ktorá sa nepohybuje, hmotu, od ktorej bol všetok pohyb odtrhnutý. A tú nenachádzame.

Pojem energie je omnoho jasnejší ako *pojmem hmotnosti* („zotrvačnej a gravitačnej hmoty“, „masy“). Aj tento pojem prechádzal dlhým historickým vývojom. Newtonovská fyzika a ešte aj dnes mnohí fyzici sa domnievajú, že hmotnosť je mierou množstva hmoty. Takéto chápanie hmotnosti, aj keď má určité oprávnenie, bolo už dávno vo fyzike kritizované a prekonané. Hmotnosť sa považuje za mieru zotrvačných a gravitačných účinkov. V sovietskej diskusii o vzájomnom vzťahu hmotnosti a energie bola podaná presnejšia, ale predsa veľmi všeobecná definícia hmotnosti, ku ktorej sa vrátíme.

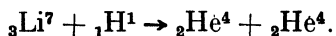
Mnohí fyzici považujú hmotnosť za veličinu, ktorá má význam len pre ten druh hmoty, ktorý nazývame látkou (veščeťstvo). Podľa nich má zmysel hovoriť o hmotnosti látomu, molekuly a elektrónu, ale neexistuje hmotnosť elektromagnetického poľa. To — ako dnes vieme — je nesprávne. Napr. svetlo má nielen svoju energiu, ale má aj svoj impulz.

Svetlo si svoj pohybový stav zachováva, zotrúva v ňom a naopak môže svoj pohyb premeniť na iný druh pohybu. L e b e d e v experimentálne dokázal existenciu svetelného tlaku. V tomto experimente svetlo odovzdáva drobným čiastočkám peľu nielen svoju energiu, ale aj impulz. Fotón, čiastočka elektromagnetického poľa, môže vyraziť z atómu elektrón takým istým mechanizmom ako čiastočka látky, t. j. môže mu odovzdať časť svojej energie aj impulzu. Svetlo má teda zotrvačnosť. Pri svetle sa však prejavujú aj gravitačné účinky. Fotóny, pohybujúce sa v blízkosti hviezd s veľkou hmotnosťou, gravitačnými účinkami sa odchyľujú zo svojej pôvodnej dráhy. Vlnová dĺžka fotónu rastie so vzdalovaním fotónov od gravitačného centra — „fotón červená“. Pri svetle nachádzame teda aj gravitačné účinky. Hmotnosť je však práve mierou zotrvačných a gravitačných účinkov — svetlo preto musí mať hmotnosť. Tento fakt sa v súčasnej fyzikálnej literatúre veľmi málo a nedostatočne objasňuje.

Pre obidve veličiny — pre hmotnosť i pre energiu — platí zákon zachovania. V mnohých učebniciach fyziky, v ktorých sa hovorí o zákone zachovania energie, poznamenáva sa však, že súčasná špeciálna teória relativity došla k záveru, že neplatí prv formulovaný zákon zachovania hmotnosti, neplatí však ani zákon zachovania energie. Tieto dva zákony treba vraj nahradiť jediným zákonom, zákonom zachovania hmotnosti a energie. Podľa tohto tvrdenia je možná premena hmotnosti na energiu a naopak. Ako doklad sa uvádzajú mnohé známe jadrové reakcie. Samo osebe je to ešte nie také závažné — je to „fyzikálna chyba“. Ale väčšina fyzikov dosiaľ stotožňuje nesprávne pojem hmotnosti a hmoty. Idealistickí filozofi ich zásadne stotožňujú. Ak by platil len zákon zachovania energie a hmotnosti (hmoty podľa slovníka idealistických filozofov), potom by to znamenalo, že skutočne dochádza k premene hmoty na energiu, na niečo nehmotné. „Premenu hmoty na energiu“ veľmi často využívajú idealistickí fyzici a filozofi nielen na vyvrátenie materialistického svetonázoru, ale aj na hlásanie tých najreakčnejších myšlienok.

## II. ZÁKON ZACHOVANIA ENERGIE A ZÁKON ZACHOVANIA HMOTNOSTI

Hovorí sa, že pri jadrových reakciách dochádza k premene hmotnosti na energiu. Defekt hmotnosti má reprezentovať tú časť hmotnosti, ktorá sa premenila na energiu. Preskúmame podrobnejšie známu reakciu, pri ktorej vznikajú dve héliové jadrá z jadra lítia bombardovaného protónmi. Reakcia prebieha podľa schémy:



Aby sme mohli vykonať správnu energetickú bilanciu a bilanciu pre hmotnosť, musíme pre hmotnosť i pre energiu používať vzorce z teórie

relativity. Je známe, že energia  $E$  častice je spojená s hmotnosťou  $m$  vzťahom:

$$E = mc^2, \quad c \doteq 3 \cdot 10^{10} \text{ cm sec}^{-1}; \quad (1)$$

hmotnosť  $m$  závisí pritom od rýchlosti:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (2)$$

kde  $m_0$  značí hmotnosť častice v pokoji a  $v$  je jej rýchlosť. Pokojová hmotnosť jadra lítia je  $m_{0,\text{Li}} = 7,01822$ , protónu  $m_{0,\text{H}} = 1,00812$  a héliového jadra  $m_{0,\text{He}} = 4,00390$ . Súčet pokojových hmotností jadier pred reakciou je 8,02634 a súčet pokojových hmotností oboch héliových jadier je 8,00780; je teda o hodnotu 0,01854 menší ako súčet pokojových hmotností protónu a lítia. Tento rozdiel sa nazýva defektom hmotnosti. Neplatí teda zákon zachovania pokojových hmotností. Do reakcie však nevstupujú len častice, ktoré by boli v pokoji, a častice, ktoré vzniknú, sa taktiež nenachádzajú v pokoji. Naopak na pokojné lítiové jadro dopadá protón s energiou  $\sim 0,1$  MeV a vzniknuté héliové jadrá sa rozletia obrovskou rýchlosťou, pričom kinetická energia pripadajúca na jednu časticu je  $\sim 8,6$  MeV. Preto pre porovnanie hmotností častíc, ktoré sa na reakcii zúčastnili, musíme použiť vzorec (2). Stav pred reakciou:

$$m_{\text{Li}} = m_{0,\text{Li}} = 7,01822, \quad m_{\text{H}} = \frac{m_{0,\text{H}}}{\sqrt{1 - \frac{v_{\text{H}}^2}{c^2}}} = 1,00823, \quad m_{\text{Li}} + m_{\text{H}} = 8,02645.$$

Stav po reakcii budeme pre jednoduchosť uvažovať pre častý prípad, pri ktorom sa jadrá hélia rozletia rovnakou a nie rozličnou rýchlosťou

$$m_{\text{He}} = \frac{m_{0,\text{He}}}{\sqrt{1 - \frac{v_{\text{He}}^2}{c^2}}} = 4,01312; \quad 2 m_{\text{He}} = 8,02624.$$

Vidíme, že v hraniciach pozorovacích chýb vo Wilsonovej komore možno pre túto reakciu s neobvyčajnou presnosťou potvrdiť zákon zachovania hmotnosti v tvare:

$$m_{\text{Li}} + m_{\text{H}} = 2 m_{\text{He}}. \quad (3)$$

Pri tejto, ako aj pri každej inej jadrovej reakcii platí zákon zachovania hmotnosti. Hmotnosť sa nemení na energiu! Súčasne s týmto zákonom je splnený aj zákon zachovania energie, ktorý platí samostatne a nijako sa

neprelína so zákonom zachovania hmotnosti. Zákon zachovania energie v našom prípade znie:

$$m_{0,\text{Li}}c^2 + \frac{m_{0,\text{H}}c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_{\text{H}}^2}{c^2}}} = 2 \frac{m_{0,\text{He}}c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_{\text{He}}^2}{c^2}}},$$

čiže

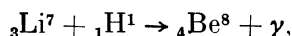
$$E_{\text{Li}} + E_{\text{H}} = 2 E_{\text{He}}. \quad (4)$$

Pravda, zákon zachovania energie nezávisí už od zákona zachovania hmotnosti a naopak. Pretože platí zákon zachovania hmotnosti, platí aj zákon zachovania energie v dôsledku Einsteinovho vzťahu (1):

$$E = mc^2.$$

Ak rovnicu (3) násobíme  $c^2$ , dostaneme rovnicu (4).

Reakcia, ktorú sme vyšetrovali, môže však prebiehať aj ináč. Litiové jadro v pokoji pohltí protón, ktorý naň narazil, zmení sa na berýlium a fotón. Reakcia prebieha podľa schémy:



pričom energia fotónu  $\gamma$  je  $\sim 17,2$  MeV (fotón nesie toľko energie, koľko so sebou unášali v prvom prípade obidve héliové jadrá spolu). Tu zasa ako v predchádzajúcom prípade platí **zákon zachovania energie**:

$$m_{0,\text{Li}}c^2 + \frac{m_{0,\text{H}}c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_{\text{H}}^2}{c^2}}} = \frac{m_{0,\text{Be}}c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_{\text{Be}}^2}{c^2}}} + h \cdot \nu,$$

čiže

$$E_{\text{Li}} + E_{\text{H}} = E_{\text{Be}} + E_{\gamma},$$

t. j. energia sa zachováva. Ak túto rovnicu delíme  $c^2$ , dostávame ako prv zákon zachovania hmotnosti:

$$m_{0,\text{Li}} + \frac{m_{0,\text{H}}}{\sqrt{1 - \frac{v_{\text{H}}^2}{c^2}}} = \frac{m_{0,\text{Be}}}{\sqrt{1 - \frac{v_{\text{Be}}^2}{c^2}}} + \frac{h\nu}{c^2},$$

čiže

$$m_{\text{Li}} + m_{\text{H}} = m_{\text{Be}} + m_{\gamma}.$$

V tejto rovnici je  $m_{\gamma}$  hmotnosť alebo miera zotrvačných a gravitačných účinkov fotónu. Hmotnosť sa zasa zachováva, nemení sa na energiu!

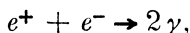
Ostáva ešte otázka. Pri jadrovej reakcii sa vytvorí napr. jadro hélia, ktoré sa rýchlo pohybuje, a má preto veľkú hmotnosť. Za pomerne krátky čas sa jadro zabrzdí, zastaví sa, jeho hmotnosť klesne na hodnotu pokojovej — minimálnej hmotnosti. Kam zmizol relativistický prírastok hmotnosti? Pri zabrzdení odovzdáva jadro hélia svojmu okoliu nielen svoju ener-



giu, ale [aj tejto energii zodpovedajúcu hmotnosť. Ak je [úbytok energie héliového jadra  $\Delta E_{\text{He}}$ , potom súčasne s touto energiou odovzdanou okoliu odovzdáva héliové jadro svojmu okoliu hmotnosť  $\Delta m = \frac{\Delta E_{\text{He}}}{c^2}$ . Vzniknutá častica stratí svoj relativistický prírastok hmotnosti a svoju kinetickú energiu pri zrážkach s atómami a vyžiarením.

V predchádzajúcich príkladoch sme použili Einsteinov vzťah (1), ktorý nám hovorí, že každej častici s hmotnosťou  $m$  prislúcha energia  $E = mc^2$ . Je dôležité a nevyhnutné uvedomiť si, že tento vzťah s vkutočnosťou nehovorí o premene hmoty na energiu, ako sa často tvrdí, ani hmotnosti na energiu, lebo *platí pre jeden a ten istý objekt*. Tá častica, ktorá má energiu  $E$ , má hmotnosť  $m = \frac{E}{c^2}$ . Tento vzťah nemožno zamieňať so zákonom zachovania energie!

Často sa zákon zachovania energie zamieňa s Einsteinovým vzťahom pri známom procese, ktorý sa nesprávne nazýva „anihilácia hmoty“. V tomto procese ide o premenu pozitron-elektrónového páru na dve kvantá  $\gamma$ . Proces prebieha podľa schémy:



kde  $e^+$  značí pozitron,  $e^-$  elektrón. Uvažujme opäť jednoduchý a častý prípad, keď elektrón aj pozitron sa pomaly pohybujú. Pri týchto podmienkach majú obidve vzniknuté kvantá  $\gamma$  rovnakú energiu. Pretože hmotnosti elektrónu i pozitronu sú rovnaké, zákon zachovania energie znie takto:

$$2E_e = 2h\nu, \text{ čiže } E_e = h \cdot \nu. \quad (5)$$

Rovnica (5), ktorá predstavuje zákon zachovania energie, nemá nič spoločného s Einsteinovým vzťahom. Ak delíme rovnicu (5)  $c^2$  a použijeme Einsteinov vzťah (1), dostaneme postupne:

$$\frac{E_e}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2},$$

$$m_{0,e} = \frac{h\nu}{c^2},$$

$$m_{0,e} = m_\gamma.$$

Posledná rovnica, v ktorej sme znova hmotnosť fotónu označili  $m_\gamma$ , predstavuje zákon zachovania hmotnosti pri premene pozitronu a elektrónu na 2 kvantá  $\gamma$ , pri premene jedného druhu hmoty na iný druh. Pri tomto procese hmota prechádza zo stavu látky do stavu elektromagnetického poľa.

Významná existencia vzťahu  $E = mc^2$  odkrytého Einsteinom viedla mnohých fyzikov k myšlienke, či by sa dva rozličné pojmy, s ktorými sme dosiaľ pracovali — energia a hmotnosť — nedali zahrnúť do jediného pojmu. Einstein a mnohí fyzici na západe sú ochotní odstrániť pojem hmotnosti ako nadbytočný a ponechať len pojem energie. Tento „fyzikálny energetizmus“ v západných krajinách často vyúsťuje do filozofického smeru — energetizmu, podľa ktorého bude možné všetky procesy a javy v prírode opísať len z energetického hľadiska. V spojení s machistickými názormi dochádza tento smer k záveru, že svet je len energetickým — nehmotným dejom. Tézy ako napr. „fotóny sú kvantá čistej energie“ sú razené priamo energeticky. Tento smer je však zásadne pochybený. Energia sama ani zďaleka nestačí na opis všetkých javov vo fyzike, nehovoriac ani o tom, že nemôžeme fyzikálnu veličinu — energiu — vzťahovať na všetky procesy, ktoré sa s hmotou odohrávajú. Na opis a výklad dejov, ktorými sa fyzika zaoberá, potrebuje mnoho iných veličín, popri energii aj impulz, moment impulzu, náboj a iné. Na opis fotónu nám nestačí poznať jeho energiu, musíme poznať aj jeho impulz, jeho vlastný moment impulzu, ktorý nazývame spinom. Musíme vedieť, že fotón je nenabitá, neelektrická častica, že však fotón a elektrón, fotón a protón atď. môžu na seba účinkovať. Stanovisko energetikov je teda na fyzikálnom poli neudržateľné.

Pri diskusii v SSSR sa však vyskytla aj otázka, či by nebylo možné tieto dva pojmy — pojem energie a hmotnosti — spojiť do jediného pojmu tak, ako fyzika už spojila napr. pojem zotrvačnej a gravitačnej hmotnosti do jediného pojmu, všeobecnejšieho pojmu — pojmu hmotnosti (rusky *massa*). Existujú však dôvody proti takémuto spájaniu pojmu hmotnosti a energie.

Predovšetkým hmotnosť je veličina, ktorá určuje vzájomné gravitačné pôsobenie dvoch telies, dvoch častíc nielen v klasickej Newtonovej teórii gravitácie, ale aj vo všeobecnej Einsteinovej teórii gravitácie. Vystupuje v určitom zmysle podobne ako náboj elementárnych častíc pri elektrickom pôsobení a ako ďalšie parametre vzájomného pôsobenia častíc atómového jadra, ktoré boli odkryté súčasnou fyzikou. Zaraďuje sa teda k veličinám charakterizujúcim *vzájomné pôsobenie hmoty*.

Pokojuv hmotnosť je ďalej jednou z význačných veličín charakterizujúcich elementárne častice. Hmotnosť protónu nemôžeme ľubovoľne meniť. Ak má protón vysokú hmotnosť, môžeme znižovaním rýchlosti protónu znižovať jeho hmotnosť až po určitú medznú hranicu. Minimálnu hmotnosť má protón, ktorý je v pokoji. Pokojovú hmotnosť protónu však už nemôžeme zmenšiť. Hmotnosť sa teda javí ako kvantová veličina. *Pokojuv*

*hmotnosť je kvantová hranica*, po ktorú môže elementárna častica existovať — zachovávať sa. Keby táto hranica nebola, chovali by sa všetky častice — elektróny, protóny atď. — podobne ako fotóny, nebolo by možné v nijakom systéme priviesť ich do stavu pokoja. A práve tým sa líšia častice látky od častíc elektromagnetického poľa, že môžu existovať v relatívnom pokoji. Pre jednotlivé elementárne častice je ich pokojová hmotnosť charakteristická. Všetky elektróny majú nielen ten istý elektrický náboj, ale aj tú istú pokojovú hmotnosť; všetky protóny majú svojou absolútnou hodnotou rovnako veľký elektrický náboj ako elektróny, ale majú inú pokojovú hmotnosť ako elektróny, rovnakú však pre všetky protóny. Okrem toho je pre ne charakteristickou ďalšia veličina, určujúca vzájomné pôsobenie protónov, ktorá je zasa pre všetky protóny rovnaká. Pokojová hmotnosť elementárnych častíc je teda zrejme veličina, ktorá charakterizuje druh elementárnej častice.

Vychádzajúc z týchto poznatkov došli sovietski fyzici a filozofi k tejto definícii hmotnosti: „Hmotnosť charakterizuje zotrvačné a gravitačné účinky a spolu s nábojom, spinom a ďalšími parametrami určuje druh elementárnej častice.“ Je to zaiste všeobecná definícia a bude úlohou fyziky v budúcich rokoch, aby podrobnejšie dokreslila pojem hmotnosti.

#### Z Á V E R

Sovietska diskusia vyjasnila vzájomný vzťah medzi hmotnosťou a energiou. Súčasne však ukázala na nevyhnutnosť ešte dôkladnejšie študovať a poznávať najvšeobecnejšie vlastnosti hmoty, ďalej spresňovať pojmy, ktorými hmotné procesy a vlastnosti hmoty vo fyzike zobrazujeme, neuspokojovať sa s dosiahnutými výsledkami, ale tvorivo pokračovať v našom fyzikálnom diele.

Pred fyzikou leží dôležitá a významná úloha. Treba vysvetliť, prečo sa elementárne častice tak podstatne líšia jedna od druhej, prečo nachádzame pri nich len niekoľko hodnôt nábojov a spinov a prečo je spektrum ich pokojových hmotností „čiarové“. Táto úloha je riešiteľná a je pravdepodobné, že sa ju podarí zvládnuť tým, ktorí sa vo svojej práci oprú o vedeckú filozofiu.