

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Miroslav Bednář

Odešel Werner Heisenberg - jeden ze zakladatelů moderní fyziky

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 22 (1977), No. 1, 1--9

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137666>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1977

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>

Odešel Werner Heisenberg – jeden ze zakladatelů moderní fyziky

Miroslav Bednář, Praha



Profesor WERNER HEISENBERG, jeden ze zakladatelů kvantové mechaniky, zemřel 1. února 1976. Zasáhl do mnoha oborů, poněvadž neustále usiloval o řešení aktuálních problémů. Jeho význam proto nezáleží jen v jeho podstatném podílu při formulování a interpretování kvantové mechaniky. Abychom si mohli udělat představu o rozsahu jeho vlivu na rozvoj fyziky, zmíníme se krátce a v chronologickém pořadí o problémech, na jejichž řešení se aktivně podílel.

Werner Heisenberg se narodil 5. 12. 1901 ve Würzburgu. Jeho otec byl profesorem orientální filologie na mnichovské univerzitě. V prostředí, v němž vyrůstal, byly tradičně pěstovány sklony k filologii, literatuře a umění. Mladý Werner však tuto rodinnou tradici porušil a orientoval své zájmy zcela jiným směrem. Zajímal se o matematiku a fyziku. Po nelehkém rozhodování, má-li studovat fyziku nebo matematiku, zvolil si nakonec fyziku. Studovat začal u kolegy svého otce, prof. A. SOMMERFELDA na univerzitě v Mnichově. A. Sommerfeld ve svých vzpomínkách na Heisenberga uvádí, že při prvním setkání s ním se mu Heisenberg ve snaze dokázat svůj skutečný zájem o fyziku pochlubil, že četl knihu H. WEYLA „Raum, Zeit und Materie“ a že si myslí, že ji pochopil. Sommerfeld – jako velmi citlivý pedagog – však posuzoval tento Heisenbergův projev zájmu o fyziku střízlivě. S uznáním se tehdy vyjádřil o jeho pílí, ale neodpustil si připomínku, že hodlá přednášet kurs elementární mechaniky a že mu doporučuje věnovat značnou pozornost především cvičením. Již během studií byl Heisenberg vědecky velmi aktivní, a tak již ve druhém semestru žádal Sommerfelda o svolení publikovat svou první práci ve *Physikalische Zeitschrift*. Byla to práce z hydrodynamiky,

na níž tehdy během studií pracoval. U hydrodynamiky však nezůstal dlouho. Začal studovat aktuální problémy ze spektroskopie. Bylo zapotřebí analyzovat nejnovější experimentální data týkající se spektrálních čar v magnetickém poli, tzv. anomální Zeemanův efekt. Heisenberg byl postaven před problém určit – v rámci Bohrovy kvantové teorie – energetické hladiny zářičího systému tak, aby jednotlivé spektrální čáry bylo možno vyjádřit pomocí rozdílů energií dvou hladin. Jednotlivým hladinám bylo nutno přiřadit kvantová čísla, aby je bylo možno popsat a klasifikovat. Komplikovaný problém, jak přecházet od rozštěpení spektrálních čar v magnetickém poli k rozštěpení energetických hladin, byl řešen v několika pracích. První z nich v roce 1922 uveřejnil Heisenberg sám, další dvě potom se Sommerfeldem. Tyto práce se staly velmi významnými. Na jejich základě byly později získány formule pro intenzity záření při přechodech mezi multiplenty s Russel-Saundersovými vazbami.

Rok 1922 byl pro Heisenberga významný ještě z jiného důvodu. Spolu se svým učitelem A. Sommerfeldem navštívil Göttingen, kde tehdy žili významní fyzikové. Heisenberg se zde poprvé setkal s BOHREM, s nímž se hned při první příležitosti pustil do otevřené polemiky. Bohrov zájem a ochota diskutovat o otevřených problémech fyziky Heisenberga přímo nadchly. Toto setkání mělo pro Heisenberga mimořádný význam v tom, že bylo počátkem úzkých kontaktů s Bohrem.

Během zimy 1922–1923 studoval Heisenberg v Göttingen a pracoval s BORNEM mimo jiné rovněž na problémech, jak použít v atomové fyzice poruchové metody, rozvinuté a používané v astronomii. V létě r. 1923 se vrátil zpět do Mnichova vypracovat doktorskou disertaci. Od Sommerfelda dostal k řešení složitý problém opět z hydrodynamiky, z turbulence. Téhož roku obhájil disertaci, získal doktorát filozofie a odchází do Göttingen k Bornovi jako jeho asistent. V roce 1924 se habilituje na univerzitě v Göttingen a stává se jako tříadvacetiletý docentem.

Zimu 1924–1925 strávil Heisenberg v Kodani, kam byl pozván Bohrem. Na univerzitě v Kodani působí rovněž jako docent. Během následujících dvou let pracuje střídavě v Kodani a v Göttingen. V Kodani se setkává s KRAMERSEM. Plodná spolupráce s ním vede k sepsání společné práce o problémech rozptylu světelného záření atomy v rámci Bohrovy kvantové teorie. Tato práce je poslední prací, v níž Heisenberg uvažoval ještě konvenčně, způsobem, jenž byl přijat a pro svoji názornost byl tehdy považován za přirozený. Po svém návratu zpět do Göttingen Heisenberg zřejmě i pod silným vlivem Bornovým začíná postupně chápat bezpodmínečnou nutnost změny dosavadních „přirozených“ představ o jevech v atomech. Staví se na stanovisko, že děje v atomech je nutné chápat tak, jak se nám jeví, a k jejich popisu používat pouze ty veličiny, jež jsou experimentálně měřitelné, poněvadž v přírodovědě nemá smysl hovořit o tom, co nemůže být změřeno. Používání pojmů klasické mechaniky je neadekvátní běžným experimentálním zkušenostem, poněvadž klasické veličiny jako je např. dráha nebo oběžná doba elektronu v atomu pozbývají smysl neboť je nelze experimentálně vůbec stanovit. Tuto radikální filozofii Heisenberg důsledně přijímá. Základním problémem, na nějž bylo nutné najít tehdy odpověď, byla otázka: co tedy pozorujeme, studujeme-li atom? Odpověď byla nadmíru jednoduchá: světlo, které vyzařuje. U světelného záření lze přitom měřit dvě jeho základní charakteristiky, frekvenci a intenzitu. Svě radikální stanovisko Heisenberg nakonec shrnul a zcela originálním způsobem matematicky for-

muloval v pozoruhodné práci [1], jež představovala zcela nový, nestandardní přístup k formulaci dynamiky atomů. Tato práce byla vlastně zrozením kvantové mechaniky a vyvolala ohromnou lavinu úsilí fyziků o nové řešení kvantových problémů.

Heisenberg vycházel z faktu, že dvě bezprostředně pozorovatelné dynamické veličiny, tj. intenzity a frekvence světelného záření vyzařovaného atomem při přechodech ze stavů s energiemi E_n do stavů s energiemi E_m lze popsat soubory čísel I_{nm} a ω_{nm} se dvěma indexy (v souhlasu s Bohrovou teorií je $\omega_{nm} = (1/\hbar)(E_n - E_m)$). Bezprostředním zobecněním tohoto faktu dospěl Heisenberg k závěru, že nejen intenzity a frekvence, ale jakákoliv dynamická veličina potřebná pro popis elektronu v atomu – jako např. souřadnice a hybnost – musí být explicitě popsána obdobně, tj. pomocí souborů čísel, opatřených dvěma indexy n, m . Problém, jak definovat pravidla matematických operací, jakými jsou sčítání, ale především násobení pro takové veličiny, Heisenberg vyřešil s geniální intuicí. Užívaje princip korespondence zobecňoval úvahy obvyklé při harmonické analýze (Fourierovy řady) klasických vibračních veličin. Ústředním problémem ve staré Bohrově kvantové teorii byl problém kvantování. Zvláště u složitějších, vícečásticových systémů nebylo vůbec jasné ani to, jak definovat pro tyto systémy dynamické veličiny, jež je nutné kvantovat, a jak samotné kvantování takových veličin matematicky provést. Složitý problém kvantování Heisenberg formuloval zcela nově tím, že předložil univerzální „recept na kvantování“. Teprve poté, kdy BORN a JORDAN dokázali, že Heisenbergem definované nové matematické operace jsou totožné s operacemi známými v maticovém počtu, bylo rovněž ukázáno, že univerzální Heisenbergovu podmínku kvantování lze formulovat jako komutační relaci $xp_x - p_x x = i\hbar$ mezi veličinami, jež v nové kvantové teorii představují dynamické proměnné souřadnice a impuls.

První reakce Borna, jemuž Heisenberg předložil svoji práci [1] k posouzení, byla chladná, až odmítavá, poněvadž obsah práce byl na první pohled považován za cosi temného, až mystického. Born práci zpočátku odložil a neměl chuť ji číst. Teprve po několika dnech se do ní začel a zjistil, že je fascinující, poněvadž je skutečným krokem vpřed v úsilí o formulaci kvantové mechaniky, jemuž sám věnoval mnoho energie.

Na otázkách matematické reformulace Heisenbergových výpočtů pracoval Born nejprve sám, potom s Jordanem. Ke spolupráci byl nakonec přizván i Heisenberg, a tak ve spolupráci těchto tří fyziků vznikla slavná práce [2] označovaná jako „Dreimännerarbeit“, v níž byla matematicky definitivně zformulována maticová kvantová mechanika.

V téže době, v letech 1925–1926, SCHRÖDINGER nezávisle na Heisenbergovi rozvíjel svoji formulaci kvantové mechaniky, vycházející z DE BROGLIEHO úvah o možnosti připisovat hmotným mikroobjektům vlnové vlastnosti. Fundamentálním dynamickým zákonem v této formulaci kvantové mechaniky je dobře známá Schrödingerova rovnice. V roce 1926 SCHRÖDINGER a PAULI dokázali matematickou ekvivalenci obou formulací nové kvantové mechaniky. Na problémech matematické formulace principů kvantové mechaniky pracoval v téže době nezávisle rovněž P. A. M. DIRAC.

Když byly zformulovány základní principy kvantové mechaniky, bylo možno a žádoucí přistoupit k aplikacím. Nejprve spolu s Jordanem Heisenberg studuje – v rámci nové kvantové mechaniky – vliv magnetického pole na energetické hladiny obalových elektronů, tzv. anomální Zeemanův efekt. V témže roce – 1926 – Heisenberg předkládá

velmi důležitou aplikaci, v níž bylo, na rozdíl od staré kvantové teorie Bohrovy, možné bez principiálních potíží diskutovat problémy více těles. V práci [3] studuje nejjednodušší z takových vícečásticových systémů, atom hélia. V této studii byl do fyziky zaveden důležitý pojem tzv. výměnných sil, jež jsou projevem toho, že dva elektrony atomu hélia se chovají tak, jako by jeden (každý) z nich „věděl“ o existenci a vlastnostech druhého, přičemž jakoby sám své chování přizpůsoboval chování druhého elektronu. Energie atomu potom přirozeně závisí na vlastnostech dvouelektronového systému jako celku. Elektrony v atomu jsou korelovány pomocí typu symetrie dvouelektronového systému, jenž může existovat buď ve stavu symetrickém (para), nebo antisymetrickém (orto) vůči záměně souřadnic obou elektronů. Heisenbergem zavedené výměnné síly tvoří specifický kvantový efekt, jenž nemá klasickou analogii. Umožňuje přitom vysvětlit záhadu dvou systémů termů pro ortohélium a parahélium. Je nutno v této souvislosti uvést, že pomocí kvantové mechaniky získané předpovědi pro spektrum energetických hladin hélia byly v tak dobré shodě s experimentálními hodnotami, že poté, kdy Heisenberg tuto aplikaci publikoval, nikdo již nepochyboval o tom, že kvantová mechanika je správný nástroj k popisu jevů v atomech.

Problém popisu výměnných sil u víceelektronového systému a problémy formulace Pauliho vylučovacího principu a jeho důsledky Heisenberg diskutoval dále pomocí vlnové mechaniky v četných pracích, sepsaných v průběhu roku 1926 v Kodani.

V roce 1927 byl Heisenberg jmenován řádným profesorem teoretické fyziky na univerzitě v Lipsku. Zde byla v roce 1928 sepsána významná práce [4], v níž Heisenberg (nezávisle k podobným závěrům dospěl rovněž FRENKEL) ukazuje, že pro fyzikální objasnění feromagnetismu je podstatná právě výměnná interakce mezi elektrony feromagnetika. Jeho teorie, jejíž pomocí tehdy vysvětlil feromagnetické vlastnosti mnoha známých kovů, je dodneška stěžejní prací v oboru feromagnetismu.

Nemalou pozornost věnuje Heisenberg v tomto období rovněž otázkám interpretace kvantové mechaniky. Možnost popisovat hmotné objekty v kvantové mechanice pomocí vlnových funkcí a výsledky pokusů s difrakčním rozptylem elektronů svědčící o vlnovém charakteru mikroobjektů na jedné straně a na straně druhé běžná zkušenost, ověřovaná na snímcích z Wilsonovy komory, že totiž elementární částice jsou značně lokalizovanými objekty, vyvolal potřebu diskutovat fundamentální fyzikální a filozofický problém, označovaný jako problém vlna-částice. Problém záležel v tom, jak používat z hlediska klasické mechaniky zcela různorodé pojmy při popisu atomových jevů. Velký význam měla pro Heisenberga, jak sám nejednou zdůrazňoval, diskuse s EINSTEINEM. Jeho výrok o tom, že teorie je vždy podstatná pro pochopení toho, co v přírodě pozorujeme, měl pro Heisenberga mimořádnou cenu. Uvědomil si totiž, že východisko z dilematu lze najít, postavíme-li se na stanovisko, že v přírodě jsou realizovatelné pouze situace, jež lze popsat kvantovou mechanikou. Kvantová mechanika představuje přitom teoretické schéma, v jehož rámci je nutné interpretovat jevy v mikrosvětě bez ohledu na to, že některé její důsledky jsou z hlediska klasické fyziky ne zcela pochopitelné. Heisenbergovo úsilí o řešení těchto problémů vyústilo nakonec ve formulaci známého principu neurčitosti, podle něhož např. u reálného elektronu v principu nelze přesně stanovit současně jeho polohu a impuls. Obě tyto veličiny lze stanovit jen s jistými chybami Δx , Δp_x , jež jsou ovšem vázány podmínkou $(\Delta x) \cdot (\Delta p_x) \geq h$. Své názory na problémy

interpretace kvantové mechaniky shrnul Heisenberg ve své knize [1] *Die Physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*, sepsané v roce 1930.

Vedle kvantově mechanického popisu fyzikálních systémů s konečným (fixovaným) počtem stupňů volnosti (atomy) bylo nutné obrátit pozornost rovněž k problémům popisu komplikovaného interagujícího systému elektron-elektromagnetické pole. Spolu s Paulim Heisenberg rozvinul v letech 1929–1930 obecnou teorii kvantovaných polí a řešil problém formulace kvantové elektrodynamiky. K těmto problémům se Heisenberg vrátil v mnoha pracích ještě v dalších letech jednak sám, jednak ve spolupráci s H. EULEREM. Značnou pozornost věnoval ve svých studiích rovněž Dirakově teorii pozitronu, objeveného v roce 1932 ANDERSONEM.

Rok 1932 byl v Heisenbergově životě mimořádně významný. V tomto roce byl totiž za svůj významný podíl při formulování a interpretování kvantové mechaniky odměněn Nobelovou cenou za fyziku.

Počátkem třicátých let začal pomalu opadat velký zájem o řešení problémů souvisejících s používáním kvantové mechaniky při popisu spektroskopických vlastností atomů. Zákony spektroskopie byly v principu vyřešeny a neřešené problémy u složitých mnohoelektronových atomů byly považovány za technický problém. Zájem fyziků se obracel k nové oblasti, k jaderným jevům. Kvantová mechanika se začala používat při popisu těchto jevů. V roce 1932 byla CHADWICKEM experimentálně objevena nová, elektricky neutrální částice, nazvaná neutron. Bylo přirozené předpokládat, že vedle známých částic elektronu a protonu bude hrát důležitou roli v úvahách o struktuře hmoty rovněž neutron. Na Chadwickův objev Heisenberg v roce 1932 pohotově reagoval tím, že zformuloval odvážný předpoklad, podle něhož se atomová jádra skládají z dobře známých protonů a nově objevených částic – neutronů [5] (Podobnou hypotézu zformuloval nezávisle rovněž IVANĚNKO.)

Heisenberg navíc navrhl, aby neutron, jehož hmota je přibližně rovna hmotě protonu, byl považován spolu s protonem za dva nábojové stavy částice, nazvané nukleon. Zavedl proto pojem izotopického spinu, jenž umožnil matematicky formulovat tuto hypotézu. Bylo rovněž navrženo, aby interakce neelektromagnetického původu mezi nukleony byla považována za důsledek nábojové výměny, při níž jedna částice přechází v druhou. Tyto teoretické úvahy vytvářely podklad, umožňující pochopit základní fyzikální vlastnosti jader. Zároveň bylo možno cílevědomě usměrňovat výzkum ve fyzice jádra. Když v prosinci 1938 HAHN a STRASSMAN objevili schopnost těžkých jader dělit se v důsledku interakce s neutrony na dvě jádra střední váhy a několik volných neutronů, nastal zásadní zvrat v jaderném výzkumu. Objevila se možnost laboratorně realizovat řetězovou reakci a vznikl ovšem problém, jak využít řetězovou reakci prakticky. Na problémech s tím spojených začal Heisenberg pracovat těsně před válkou. Datem 29. 2. 1940 je opatřen jeho základní spis *Die Möglichkeit der technischen Energiegewinnung aus der Uranspaltnng, I und II*. Otázkami praktického využití řetězové reakce se zabýval potom v průběhu války.

V roce 1941 odchází Heisenberg z Lipska do Berlína. Zde je jmenován profesorem na univerzitě a současně ředitelem berlínského fyzikálního ústavu Kaiser Wilhelm Institut. Byl pověřen vedením německého atomového výzkumu, jehož konečným cílem mělo

být válečné použití atomové energie. Z jeho knihy vzpomínek [V] lze vyčíst, že jako Němec-nacionalista, jenž na rozdíl od mnoha fyziků jiných se vědomě rozhodl zůstat v kritickém období v Německu, prožíval tehdy nelehké vnitřní konflikty, plynoucí z pocitů odpovědnosti za vedení atomového programu. Jako fyzik si jistě uvědomoval, k jakým důsledkům by mohlo vést válečné zneužití atomové energie. Jako vedoucí německého atomového programu musel mít nesporně značnou důvěru tehdejších nejvyšších vládních představitelů. Je přirozené, že tato důvěra byla vázána na ochotu přijmout oficiální politiku. S odstupem času Heisenberg sám své tehdejší postoje obhajoval slovy: „V diktatuře mohou klást aktivní odpor jen lidé, kteří zdánlivě s režimem spolupracují. Kdo se proti němu vysloví otevřeně, zbavuje se zcela jistě možnosti jakéhokoli odporu.“ Nesporným faktem bylo, i když příčin byla jistě celá řada, že německý atomový program pod Heisenbergovým vedením nebyl úspěšně doveden k cíli. Nebyl totiž spuštěn ani atomový reaktor. Hodnotit objektivně Heisenbergovy občanské a společenské postoje v období tzv. třetí říše je nelehké. Cenné postřehy, jež mohou přispět k pochopení různých souvislostí, shromáždil ve své knize [A] Robert Jungk.

Třicátá léta byla ve fyzice obdobím, kdy si mnozí fyzikové jasně uvědomovali, že k dalšímu hlubšímu poznání struktury hmoty je zapotřebí analyzovat hmotu pomocí vysokoenergetických částic, poněvadž jedině ty mají možnost překonávat různé síly uvnitř hmoty a proniknout tak na malé vzdálenosti. Pozornost se proto obrátila ke kosmickému záření, jež poskytovalo částice s energií prakticky nedosažitelnou na tehdejších urychlovačích. V četných pracích z let 1936–1952 Heisenberg studuje různé problémy kosmického záření. Vychází z předpokladu, že spršky částic vznikají mechanismem kaskádního procesu. Pomocí analogie s mnohonásobným brzdným zářením, známým z elektrodynamiky, rozvíjí teorii pro popis elektron-pozitronových a mezonových spršek, vyvolaných vysokoenergetickým kosmickým zářením. Využívá přitom mezonovou teorii jaderných sil, vypracovanou v třicátých letech YUKAWOU. Podařilo se mu popsat základní kvalitativní charakteristiky pozorovaných spršek, především, že musí obsahovat značné množství nízkoenergetických mezonů, přičemž jejich počet musí růst s energií počátečního nukleonu. U příležitosti 75. narozenin A. Sommerfelda v roce 1943 Heisenberg rediguje knihu [IV] *Vorträge über kosmische Strahlung*, v níž je shrnuto 15 významných přednášek z tohoto oboru.

Fyzikálně velmi významný příspěvek byl rozpracován Heisenbergem v roce 1943 [6]. Jde o Heisenbergovu teorii S matice. Samotný pojem S matice vznikl při pokusech popsat rozptylové procesy v relativistické kvantové mechanice. Ve svých pracích Heisenberg navrhuje, aby za fundamentální teoretickou veličinu potřebnou při diskusi rozptylových problémů byla považována S matice, na rozdíl od hamiltoniánu, používaného v běžné kvantové mechanice. Při různých kolizních procesech totiž pozorujeme pouze přechody mezi počátečním a konečným stavem interagujícího systému. K popisu počátečního a konečného stavu potřebujeme znát kvantově mechanickou vlnovou funkci pouze v asymptotické oblasti v prostoru a v čase, přičemž vzájemnou souvislost mezi asymptotickými stavy fyzikálního systému v počátku a v konci lze popsat právě S maticí. Maticové elementy S matice závisí jedině na kinematických proměnných – impulsech, spinech a vnitřních kvantových číslech (izospin apod.) interagujících částic. Heisenberg zformuloval řadu vlastností, jež musí mít S matice. Patří mezi ně především unitarita,

dále invariance vůči Lorentzovým transformacím apod. Heisenbergovy práce o S matici nevyvolaly příliš velký zájem ze strany fyziků v době svého vzniku. Středem pozornosti se staly s odstupem 10–15 let, kdy se ukázalo, že teorie S matice je jednou z mála možností, kterou lze použít při teoretickém popisu dynamiky silně interagujících částic – mezonů a nukleonů.

Těsně před koncem války byl Heisenberg spolu s dalšími německými vědci, kteří se podíleli na německém atomovém programu, zajat spojeneckými vojsky, která obsazovala území válčícího Německa. Všichni byli společně odvezeni do Anglie. Zpět do Německa se Heisenberg vrátil na jaře roku 1946. Po svém návratu začal reorganizovat bývalý Kaiser Wilhelm Institut für Physik v Göttingen. Stává se ředitelem tohoto ústavu, nazvaného od roku 1948 Max Planck Institut für Physik. V této funkci setrvává až do roku 1958. V roce 1946 je Heisenberg jmenován profesorem na univerzitě v Göttingen.

Počátkem padesátých let Heisenberg začal pracovat na jednom z fundamentálních, zatím neřešených problémů, na teoretickém problému formulace jednotné teorie pole. Důvodů, proč bylo zapotřebí zabývat se tímto problémem, bylo několik. Především neexistoval jednotný popis částic, jejichž počet neustále rostl. Rostl i počet polí odpovídajících těmto částicím. Kvantová mechanika byla spolehlivým nástrojem, jehož pomocí, na základě existence tří základních částic – protonu, neutronu a elektronu – bylo možné vysvětlit jak strukturu atomů, tak strukturu jader. Vznikla přirozeně otázka, nelze-li obdobný program realizovat ve fyzice elementárních částic, tj. není-li možné z předpokladu o existenci nějaké „prahmoty“ jednotně odvodit základní vlastnosti známých částic, ke kterým patří především hmota částic, základní kvantová čísla a vazbové konstanty potřebné pro popis vzájemných interakcí. Teorie elementárních částic by měla být přitom formulována tak, aby neobsahovala divergence známé z běžné kvantové teorie polí. Heisenberg dospěl přitom k závěru, že nežádoucí divergence lze z teorie odstranit tehdy, bude-li do teorie relativisticky invariantním způsobem zavedena nová fundamentální fyzikální konstanta, tzv. elementární délka $l \sim 10^{-13}$ cm. Dirac totiž počátkem čtyřicátých let ukázal, že nežádoucí divergence lze z kvantové teorie polí odstranit za předpokladu, že Hilbertův prostor pro kvantovou teorii pole obsahuje rovněž stavy se zápornou normou (indefinitní metrika). Taková teorie ovšem obsahuje fyzikálně nepřipustné záporné pravděpodobnosti. Heisenberg si položil otázku, nelze-li zformulovat teorii tak, aby záporné pravděpodobnosti byly přípustné jedině na vzdálenostech menších 10^{-13} cm, tj. za hranicí elementární délky, přičemž na vzdálenostech větších by všechny pravděpodobnosti byly pozitivní. Tím by běžná kvantově mechanická interpretace ve fyzikálně měřitelných oblastech zůstala zachována. Otevřenou otázkou bylo, jak definovat základní dynamickou rovnici pro „prahmotné“ pole, z níž by bylo možné odvodit vlastnosti známých částic. Aby tato rovnice dávala netriviální excitace prahmoty, interpretovatelné jako reálné částice, musela to být nutně nelineární rovnice. Aby u reálných částic bylo možné popisovat rovněž spin, bylo nutné postulovat, že prahmotné pole ψ bude spinorovým polem.

Rovnice

$$\gamma_\nu \frac{\partial}{\partial x_\nu} \psi + hc l^2 (\psi^\dagger \gamma_\mu \gamma_5 \psi) \gamma_\mu \gamma_5 \psi = 0$$

pro toto pole byla stanovena jako fundamentální zákon elementárních částic. Studium této rovnice a z ní plynoucích důsledků byly předmětem četných prací. Na rozdíl od různých současných fenomenologických popisů elementárních částic podařilo se Heisenbergovi a jeho spolupracovníkům jednotným způsobem uspokojivě popsat nejen hmoty nukleonů a π mezonů, ale rovněž hmoty dalších částic; a navíc vazbové konstanty pro silné interakce mezonů a nukleonů, vlastnosti slabých interakcí, potřebných při popisu rozpadů jednotlivých částic, vazbovou konstantu pro elektromagnetické interakce, tzv. konstantu jemné struktury apod.

Jednotné teorii pole věnoval Heisenberg zpočátku sám, později s kolektivem svých spolupracovníků, téměř 20 let své vědecky aktivní činnosti. Ačkoliv se dosáhlo četných pozitivních výsledků, nelze hovořit o tom, že by současný její stav byl definitivní. Heisenbergova jednotná teorie pole bude bezpochyby rozvíjena Heisenbergovými spolupracovníky dále.

Nezmínili jsme se doposud o tom, že v roce 1958 byl Heisenberg jmenován profesorem teoretické fyziky na univerzitě v Mnichově, kde ve dvacátých letech začal studovat fyziku. Současně se stává ředitelem ústavu Max Planck Institut für Physik und Astrophysik v Mnichově. V této funkci setrvává až do roku 1971. Od roku 1957 udržoval úzké kontakty s mezinárodním ústavem pro jaderný výzkum CERN. V roce 1960 byl viceprezidentem vědecké rady tohoto ústavu. Byl rovněž předsedou nejvýznamnější fyzikální instituce v NSR, řídicí rady Společnosti Maxe Plancka.

Na dokreslení Heisenbergovy osobnosti zbývá ještě dodat, že během svého života podnikl přednáškovou turné po celém světě. Ve třicátých letech navštívil několikrát Spojené státy, dále byl v Indii a Japonsku. V letech 1948–1956 přednášel v Anglii a znovu ve Spojených státech. Byl odměněn mnoha poctami a vyznamenáními. Kromě Nobelovy ceny dostal medaili Maxe Plancka, řád „Pour le Mérite“ za vědu a umění a četná další vyznamenání. Byl členem významných vědeckých akademií v mnoha státech.

Kromě již zmíněných knih o principech kvantové mechaniky [I] a o kosmickém záření [IV] napsal ještě další studie [II, III, V–VII]. Jeho předposlední kniha *Der Teil und das Ganze* je z roku 1969. Jsou v ní zachyceny osobní vzpomínky Heisenbergovy na významné fyziky, s nimiž se setkal v průběhu padesátiletého údobí své vědecké činnosti. Kniha je pozoruhodná mimo jiné rovněž tím, že v ní Heisenberg popisuje a dává do souvislosti různá svá osobní rozhodnutí a pocity v kritických okamžicích v průběhu války a před ní, kdy se na rozdíl od mnoha jiných fyziků vědomě rozhodl zůstat v Německu.

Zmínili jsme se krátce o nejdůležitějších údobích Heisenbergova života a o nejvýznamnějších fyzikálně fundamentálních problémech, k jejichž řešení přispěl rozhodujícím podílem. Zmínili jsme se o nejfundamentálnějších Heisenbergových publikacích, běžně dostupných v našich knihovnách (úplný seznam Heisenbergových publikací, obsahující kromě fyzikálních prací rovněž různá filozofická pojednání, jichž Heisenberg napsal velmi mnoho, byl nedávno uveřejněn v [B]). Ze seznamu jeho prací je mimo jiné také patrné, že Heisenberg patřil mezi nemnohé fyziky, kteří aktivně tvoří až do pozdních let.

Celou svou práci se Werner Heisenberg trvale zapsal do historie fyziky. Především

byl však jedním z těch, kdo ve dvacátých letech tohoto století stáli při zrodu revolučních změn ve fyzikálním myšlení.

Literatura

- [1] W. HEISENBERG, Zs. f. Pfys. 33 (1925), 879.
- [2] M. BORN, W. HEISENBERG, P. JORDAN, Zs. f. Phys. 35 (1926), 557.
- [3] W. HEISENBERG, Zs. f. Phys. 39 (1926), 499.
- [4] W. HEISENBERG, Zs. f. Phys. 49 (1928), 619.
- [5] W. HEISENBERG, Zs. f. Phys. 77 (1932), 1; 78 (1932), 156; 80 (1933), 587.
- [6] W. HEISENBERG, Zs. f. Phys. 120 (1943), 513 a 673.

Seznam Heisenbergových knih

- [I] *Die Physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*, Hirzel, Leipzig, 1930.
- [II] *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, Hirzel, Leipzig, 1935.
- [III] *Die Physik der Atomkerne*, Vieweg, Braunschweig, 1943.
- [IV] *Vorträge über die kosmische Strahlung*, Springer Berlin 1943.
- [V] *Physik und Philosophie*, Berlin 1961; český překlad: *Fyzika a filozofie*, Nakl. Svoboda, Praha, 1966.
- [VI] *Introduction to the Unified Field Theory of Elementary Particles*, Interscience Publ., London, New York, Sydney, 1966.
- [VII] *Der Teil und das Ganze*, R. Piper und Co. Verlag, München, 1969.
- [VIII] *Schritte über Grenzen*, R. Piper und Co. Verlag, München, 1971.
- [A] ROBERT JUNGK, *Jasnější než tisíc slunci*, Edice Máj, svazek 65, Mladá fronta, 1965.
- [B] Zs. Naturforsch. 31a (1976), 510.

Žák studující aritmetiku, který zvládne čtyři základní početní výkony a nedá se zlomit ani zlomky, se náhle octne tvář v tvář nesmírné rozloze otázek, známých jako slovní příklady, ačkoli nejsou přikládány, nýbrž ukládány, a měly by se tedy spíš jmenovat úklady.

Jsou to krátké povídky o lidské houževnatosti a pílí s vynechaným koncem, a třebaže mezi sebou nezapřou až fádňi rodinnou podobnost, nepostrádají přece jen jisté romantiky.

Hrdinové zápletky takového příkladu jsou tři muži zvaní *A*, *B*, a *C*. Zaměstnání, jimiž se *A*, *B* a *C* zabývají, jsou mnohá a rozmanitá. Ve starých početnicích se spokojovali tím, že „konali jistou práci“. Shledalo se však, že takové vymezení je příliš tajnůstkářské a dvojsmyslné, nebo že snad nemá dost romantické přitažlivosti. Proto přišlo do módy určovat dotyčný výkon přesněji a nechat naše hrdiny závodit v chůzi či veslování, kopat příkopy nebo rovnat dříví. Nade všechno si však libují v pohybu. Když

mají dost závodů v chůzi, jezdí *A* koňmo nebo si vypůjčuje bicykl a hladce předhání své méně důvtipné druhy. Někdy se předjíždějí na lokomotivách, jindy ve člunech a opět jindy propadnou zálibě v historii a závodí v dostavnících. Občas je jim horko a tak plavou. Jsou-li zaměstnání skutečnou prací, nejraději pumpují vodu do nádrží, z nich dvě mají děravé dno a jedna je vodotěsná. Přirozeně, že *A* čerpá do té dobré. Také si vždy bere bicykl, nejrychlejší lokomotivu i právo plavat po proudu.

Pro toho, kdo sleduje jejich život v nesčetných slovních příkladech, kde je pozoruje v hodinách odpočinku, jak si krátkými chvílemi rovnáním dříví (i docela rovného), a kdo je svědkem, jak supí námahou, když horlivě pumpují do děravé nádrže, pro toho se tyto mužové stanou něčím víc nežli pouhými symboly. Jeví se mu jako tvorové z masa a kostí, jako živí lidé s vlastními vášněmi, touhami a ctižádostí, podobní nám všem.

S. Leacock