

# Heisenbergův pohled na základní otázky spojené s kvantovou teorií

Petr Jedlička

V roce 1958 vydal jeden ze zakladatelů kvantové teorie, německý fyzik Werner Heisenberg, knihu **Physik und Philosophie**, kterou sestavil na základě svých přednášek na univerzitě v St. Andrews ve Skotsku. Protože Heisenberg nebyl jen vynikajícím fyzikem, ale byl také zběhlý ve filozofii, věnoval se v přednáškách převážně filozofickým otázkám spojeným s rozvojem kvantové teorie. Diskutuje důsledky, která tato teorie přinesla v chápání fyzikálních entit a jejich ontologického statutu na pozadí debat o realismu ve vědě a ve filozofii. Dále zkoumá, jakým způsobem se jak věda, tak filozofie vyrovnala s kvantovou teorií, pokud jde o vědecký jazyk a výstavbu teorií (zde polemizuje především s logickým pozitivismem Vídeňského kruhu) a věnuje se i alternativním výkladům kvantové teorie a jejich kritice.

Heisenbergova studie je, přes svoje stáří, aktuální právě proto, že se zabývá fundamentálními otázkami kvantové teorie a jejich implikacemi, které jsou dodnes součástí debat na pomezí fyziky a filozofie – jež se mimo jiné projevuje interpretační pluralitou (ortodoxní Kodaňská interpretace, teorie skrytých proměnných, teorie mnoha světů atd.), byť se větší část fyzikální komunity přiklání k dominantní Bohrově (Kodaňské) interpretaci, k níž se ostatně hlásí i Heisenberg.

V následujících odstavcích přiblížíme hlavní myšlenky této knihy, především s důrazem na Heisenbergův výklad základních pojmů a experimentů kvantové teorie a následně je zařadíme do kontextu filozofie vědy 20. století.

## Fyzika a filozofie

Heisenberg v úvodní části zevrubně popisuje rozdíly mezi klasickou a kvantovou fyzikou. Všimá si především toho, že představy klasické fyziky zásadně ovlivnily i dobovou filozofii (například Kantovu) a „kvantová revoluce“ tedy byla přelomovou událostí i pro filozofii. Uvádí čtenáře do situace panující na počátku 20. století, kdy se ukázalo, že pokus o popis atomových dějů v pojmech běžné (klasické) fyziky selhává – příkladem takovéto antinomie je třeba problém, jak chápat pojem „dráha elektronu“ v Bohrově modelu atomu, a na druhé

straně v mlžné komoře.<sup>1</sup> Ukázalo se, že výsledky experimentů a následně formulovaná teorie (včetně principu neurčitosti) předpokládala „velké změny v našich základních představách o skutečnosti“ včetně nové formulace toho, co vlastně rozumíme pod pojmem měření a zda se ještě dá mluvit o měření ve smyslu klasické newtonovské fyziky, když není možné měřit polohu a rychlost elektronu současně.<sup>2</sup>

Heisenberg shrnuje rozdíly v interpretaci pokusu v klasické versus kvantové fyzice následovně: V klasické fyzice určíme rychlost a polohu planety a jsme schopni predikovat pomocí známých fyzikálních zákonů její pohyb v budoucnu. Naproti tomu v kvantové teorii je naše znalost polohy a rychlosti elektronu (např. v mlžné komoře) nepřesná, respektive je limitována známých principem neurčitosti  $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ .

Kvantová teorie, řeší vzniklou situaci zavedením pravděpodobnostní funkce, která znázorňuje danou experimentální situaci. Heisenberg věnuje tomuto problému mimořádnou pozornost – pojem pravděpodobnost vykládá jako „tendenci k určitému dění“ z řeckého (aristotelovského) „potentia“ a současně za „výpověď o našem stupni znalosti situace“. Heisenberg tedy pravděpodobnostní funkci chápe jako sestávající ze dvou složek: části skutečnosti a části našeho poznání skutečnosti.<sup>3</sup> Pravděpodobnostní funkce v kvantové mechanice umožňuje popsat budoucí průběh dějů, výsledkem je ale opět pravděpodobnost. Avšak pravděpodobnostní funkce „neznázorňuje samotný průběh událostí v čase. Znamená pouze něco jako tendenci k dějům, možnost dějů nebo naši znalost dějů.“<sup>4</sup> Tato pravděpodobnostní funkce se pak s realitou spojí jen dalším vykonaným měřením, které opět popisujeme v pojmech klasické fyziky. Ale musíme přijmout jako fakt, že to, co se děje mezi dvěma měřeními neumíme popsat v pojmech klasické fyziky.<sup>5</sup>

Heisenberg z toho dedukuje závažný fakt, že neexistují vůbec žádné dráhy elektronů v běžném slova smyslu a to současně znamená i problém pro ontologii a teorii poznání, které doposud stavěly na možnosti jednoznačného popisu probíhajících dějů – výsledek pozorování totiž nemůžeme zcela „objektivizovat“, tak jak to umožňovala fyzika a věda obecně dříve.<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup> Werner Heisenberg: Fyzika a filosofie, Aurora, Praha, 2000. Str. 15

<sup>2</sup> Ibid 20.

<sup>3</sup> Obě varianty fyziky klasická i kvantová také musí počítat s chybou pozorování.

<sup>4</sup> Ibid 22.

<sup>5</sup> To bylo největším předmětem kritiky kvantové mechaniky od A. Einsteina a dalších.

<sup>6</sup> Ibid 24.

Pravděpodobnostní funkce neumí popsat, co se děje mezi dvěma pozorováními a to v důsledku vede k tomu, že pojem „dění“ můžeme definovat jen ve vztahu k pozorování a také k tomu, že „pozorování“ má na rozdíl od klasické fyziky mnohem větší (dokonce rozhodující) úlohu – pozorovaná skutečnost je jiná než nepozorovaná.

Heisenberg rovněž zkoumá, je-li možné odlišit předmět pozorování od pozorovatele. Toto dělení je v klasické fyzice neproblematické, ale ne tak v kvantové. Pravděpodobnostní funkce v kvantové mechanice – jak již bylo uvedeno – podle něho spojuje jak subjektivní, tak objektivní prvky. Objektivní jsou výpovědi o pravděpodobnostech či tendencích (potencia), ale mimo to obsahuje i subjektivní výpověď o naší znalosti systému, která se může lišit pro různé pozorovatele. Zde se projevuje další rozdíl mezi newtonovskou fyzikou a fyzikou kvantovou: pravděpodobnostní funkce nepopisuje určitý děj, ale souhrn dějů (alespoň pokud jde o pozorovací proces). Samo pozorování potom mění pravděpodobnostní funkci nespojitě. Vybere z možných procesů takový, který se skutečně vyskytl, nastává přechod od možného k faktickému. Nespojitě se mění také naše znalost během aktu registrace, a tím i matematické znázornění (dochází ke kvantovému skoku).<sup>7</sup>

Klasická fyzika přitom vycházela z předpokladu, že je možné popsat svět objektivně „bez naší účasti“ – což byla podle Heisenberga idealizace. Dospívá proto k závěru, že tradiční přírodovědné rozdělení na předmět zkoumání a ostatní svět včetně pozorovatele se vyvinulo historicky a je „v jistém smyslu“ arbitrární.

### **Pojmy a fyzika**

Heisenberg patří do té skupiny filozofů vědy, kteří nahlízejí na fyzikální jazyk jako na extenzi přirozeného jazyka. Pojmy klasické fyziky jsou pro něj zjemněním pojmů každodenního života. Přírodovědecké poznatky jsou potom vyjadřovány řečí, které se nelze při popisu vyhnout. Přirozený jazyk dlouhou dobu poskytoval postačující zdroj i pro jazyk fyzikálních teorií, které z něho čerpaly, i když samozřejmě řadu pojmů nutně redefinovaly a zpřesňovaly či kvantifikovaly. V tomto smyslu je novověká přírodověda, na rozdíl od antické, vystavěna na pevných pojmových základech, navíc experimentálně ověřených.<sup>8</sup>

Kvantová teorie však nastolila nové otázky spojené s pojmy například, jak podotýká Heisenberg: můžeme sice mluvit o elementární částici (např. neutronu) ale nemůžeme podat

---

<sup>7</sup> Ibid 28-29.

<sup>8</sup> Ibid 45.

dost dobře definovaný obraz – v pojmech běžné řeči i klasické teorie – jednou mluvíme o částici, jindy o vlně, nebo vlnovém klubku.

Karteziánské ostré rozštěpení světa na *res cogitans* a *res extensa*, které dominovalo několik století přírodovědě, se jeví ve světle kvantové fyziky jako překonané a vykazuje Heisenbergovými slovy „těžké nedostatky“<sup>9</sup>. Toto rozštěpení, které předpokládá, že je možné popsat svět bez nás samotných, je typické pro klasickou newtonovskou fyziku – bylo neobyčejně plodné, ale kvantová teorie to změnila. Heisenberg interpretuje (převažující) Kodaňský výklad kvantové teorie jako takový, že sice nevyžaduje individuální subjektivitu, ale přitom je současně nutné počítat s tím, že tento přírodovědný popis světa je vytvářen lidmi.

Z hlediska filozofie vědy je zajímavé, že Heisenberg klade analogii mezi logický pozitivismus s jeho požadavkem výstavby vědy pomocí dobře definovaných observačních pojmů, a klasickou fyziku, kde tyto pojmy lze přesně definovat, kdežto v kvantové fyzice to možné není (relace neurčitosti). Podle něho tedy filozofie logického pozitivismu z počátku 20. století odpovídá spíše formě, jakou měla fyzika ve své klasické podobě.

Vzájemnou interakci filozofie a vědy dokumentuje Heisenberg na klasikovi německého osvícenství Kantovi, který svoji filozofii postavil na pojmech jako je absolutní čas, prostor, kauzalita a dalších, které vycházely z dobového poznání – především představ klasické fyziky. Tyto koncepty, které tehdejší věda brala jako neproblematické a nepodrobovala je zvláštní analýze, pak Kant předepsal i pro jakoukoliv metafyziku (a tedy i vědu) budoucí. Ovšem během sto let od jeho smrti ovšem došlo k takovému pokroku vědy, že všechny tyto jeho axiomy byly pomocí empirických vědeckých metod vyvráceny. Heisenberg dále na příkladu rozpadu atomového jádra dokládá nedostatečnost, respektive neplatnost (Kantova) pojetí kauzality jako apriorního zákona nutného pro vědecké poznání. Klasická fyzika i zákon kauzality tak podle něho vykazují jen omezenou platnost.<sup>10</sup>

Ačkoliv to Heisenberg takto explicitně neformuluje, můžeme z těchto příkladů učinit důležitý obecný závěr pro filozofii vědy – totiž, že přenášení (extenze) dobových vědeckých představ do filozofie a snaha o jejich absolutizaci je sice možná (a častá), ale těžko ospravedlnitelná, protože pokrok vědy může tyto představy velmi rychle učinit zastaralými a vyvrátit je. Filozofické (metafyzické, epistemologické) systémy postavené na poznacích konkrétních

---

<sup>9</sup> Ibid 50.

<sup>10</sup> Ibid 56-57.

empirických věd (například fyziky nebo kognitivní psychologie) sice pak vyvolávají zdání exaktnosti a nezpochybnitelnosti, ale jejich závislost na vědeckých poznacích, které se mění, je i jejich slabinou a zpravidla s jejich změno zastarávají.

Newtonův systém byl dlouhou dobu považován za definitivní a fyzika měla pouze rozšiřovat oblast na další oblasti reality (například na konci 18. století byla snaha zpočátku vykládat elektrické jevy právě v intencích newtonovské fyziky). Elektromagnetické jevy ale nelze v intencích newtonovské mechaniky popsat – za přispění Maxwella, Lorentze a Einsteina však vznikl systém nový, který sestává z odlišných pojmů a axiomů, a který se od přechozího uzavřeného newtonovského systému podstatně liší. Právě tento disruptivní vývoj vědy na konci 19. a počátku 20. století vedl k tomu, že se ve vědě zabydlely nové pojmy a koncepce – například pojmy času nebo prostoru. Ty jsou sice společné oběma systémům, ale zatímco v Newtonově mechanice byly nezávislé, v teorii relativity byly integrálně propojeny. To vede Heisenberga k rozpracování otázky, která je už delší čas integrální součástí filozofie vědy – nakolik jsou tyto uzavřené systémy souměřitelné (commensurability) nebo srovnatelné.

Heisenberg pak vypočítává znaky, které jsou pro takový uzavřený (axiomatický) systém typické, především se jedná o:

- nerozporné matematické zobrazení (zaručuje vnitřní soudržnost systému)
- musí vysvětlovat širokou oblast zkušenosti (různé jevy, jejich mnohotvárnost je potom důsledkem přípustných řešení matematického zobrazení)
- meze aplikace tohoto systému se nedají odvodit z něho samého, z jeho pojmů, ale je nutné je nalézt empiricky

V tomto Heisenbergově popisu můžeme vidět jistou podobnost s definicí paradigmatu, tak jak je chápe Kuhn ve své Struktuře vědeckých revolucí, přestože jeho definice paradigmatu je širší a univerzálnější.

### **Interpretace kvantové teorie**

Heisenberg část své práce věnuje i různým interpretacím kvantové teorie – v zásadě se drží převažující Kodaňské interpretace, přestože diskutuje alternativní návrhy (Bohmův atd.), které ale neshledává správnými, i když a priori nevyklučuje například možnost existence Bohmových skrytých proměnných. Hlavní nedostatek nevidí v tom, že by Bohmova interpretace nebyla logicky možná, ale v tom, že jeho skryté parametry nelze experimentálně

pozorovat, a tím jsou fyzikálně neúčelné. Podle něho v tomto smyslu Bohmova interpretace kvantové teorii nic nového nepřináší.<sup>11</sup>

V podobném duchu Heisenberg polemizuje i s interpretacemi, které se snaží za každou cenu zachovávat materialistickou ontologii (Alexandrov a Blochincev) a útočí především proti zavedení pozorovatele do kvantové mechaniky – fyzikální veličiny jsou podle těchto autorů „objektivními charakteristikami a nikoliv výsledky pozorování“. Heisenberg je považuje za legitimní, ale přisuzuje jim mimovědeckou motivaci – inspirují se marxismem, který ovšem v důsledku trpí stejnými nedostatky jako filozofie Immanuela Kanta – je z hlediska pokroku vědy zastaralý.<sup>12</sup>

Přestože tedy Heisenberg důsledně hájí kodaňskou pozici (tedy, že pro to, aby událost měla faktický charakter, tzn. byla popsitelná je nutné zavedení pozorovatele), tak ji neztotožňuje se subjektivismem: „Zavedení pozorovatele se přirozeně nesmí chápat tak, jako by se tím vnášely do popisu přírody subjektivistické rysy.“ Pozorovatel je nutný, aby registroval výsledky – nicméně je lhostejné, zda se jedná o přístroj nebo člověka.<sup>13</sup>

Heisenberg dále poukazuje na to, že pozorovací akt je v kvantové mechanice ireverzibilní proces a pouze prostřednictvím takových procesů lze spojit formalismus této teorie se skutečnými ději v prostoru a čase. Tuto ireverzibilitu pak považuje za důsledek neúplného vědění o systému, kterým disponuje pozorovatel. Domnívá se tedy, že v tomto smyslu nemáme k dispozici zcela objektivní poznání, tak jak bylo chápáno dříve. Situaci pak také srovnává s klasickou termodynamikou, kde informace, kterými pozorovatel disponuje, nejsou jen informacemi o stavu systému, ale také výpovědí o jeho neúplné znalosti tohoto systému.<sup>14</sup> V obou těchto případech není poznání vědce objektivní v tom smyslu, v jakém bylo v klasické fyzice.

Představou klasické vědy bylo, že události se dějí v čase a prostoru nezávisle na tom, zda jsou pozorovány či nikoliv. „Objektivita“ v tomto smyslu předpokládala, že pozorování má sice vliv na zkoumaný jev, ale předpokládalo se, že tento vliv může být do značné míry minimalizován (takže může být zanedbán). To vedlo ke ztotožnění „objektivity“ s vědou

---

<sup>11</sup> Ibid 93-95.

<sup>12</sup> Ibid 96.

<sup>13</sup> Ibid 97.

<sup>14</sup> Ibid 97.

samotnou – až do příchodu teorie relativity a kvantové teorie, které „vedly do pohybu základy přírodní vědy“ a změnily tak naše chápání času, prostoru i kauzality.

Ve filozofii vědy, kde je problém (ne)souměřitelnosti teorií jedním z ústředních témat, se tak Heisenberg – zdá se – staví spíše na stranu těch filozofů, jako byl Kuhn nebo Feyerabenda – kteří považují předěl mezi klasickou a kvantovou fyzikou za natolik zásadní, že označují obě teorie za nesouměřitelné a definující odlišná paradigmatata. Dokládá to Heisenbergovo vyjádření, že „...poznáváme, jak je těžké vtěsnat nové skutečnosti do starého, z dřívější filozofie pocházejícího systému pojmů, nebo abychom užili starého způsobu vyjadřování, když zkusíme nalít nové víno do starých měchů“.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Ibid 98.