filosofie a současnost / 7

Ediční rada:
Jiří Cetl
Jiří Cvekl
František Čížek
Irena Dubská
Ivan Dubský
Jaromír Janoušek
Miloslav Král
Oldřich Kuba
Jaroslav Kudrna
Milan Machovec
Jiřina Otáhalová-Popelová
Jan Patočka
Milan Průcha
Milan Sobotka
Lubomír Sochor
Jindřich Srovnal

Bertrand Russell

Logika, jazyk a věda

Nakladatelství
Svoboda
Praha 1967

Vědecké pojmy /8/

Tato stať o některých základních pojmech vědy je převzata z čtvrté části knihy Human Knowledge: Its Scope and Limits. *Podává explikaci tří pojmů: interpretace, minimálního slovníku a struktury.*

Russellovy úvahy v této části se vesměs týkají vztahu logických soustav k empirii a empirickému východisku. Shrnují jeho názory, které o této problematice jsou roztroušeny v řadě prací z dvacátých a třicátých let a navazují rovněž na kritiku logického pozitivismu v knize An Inquiry into Meaning and Truth.

Interpretace Kapitola /I/

V tom všem, co bylo dosud řečeno o světě vědy, jsme dosud vše brali za bernou minci. Neříkám ovšem, že jsme zaujali takový postoj, že jsme věřili tomu, co nám mužové vědy říkají, protože tento postoj je jedině racionální pro kohokoliv, kdo v dané věci není specialista. Říkám-li, že tento postoj je racionální, nemyslím tím, že musíme mít pocit jistoty, že to, co nám říkají, je pravdivé, neboť se obvykle předpokládá, že to, co říkají, musí být časem korigováno. Myslím, že nejlepší současný vědecký názor má lepší šanci zůstat pravdivým nebo aproximativně pravdivým než jakákoliv z různých hypotéz, které vyslovují laikové. Situace je zde analogická se střelbou do cíle. Jste-li špatným střelcem, pak se stejně netrefíte do středu terče, máte však přesto více šancí trefit do středu než do jakéhokoliv jiného místa. Podobně také hypotéza vědce, i když nemusí být vždy zcela pravdivá, má přece jen více šancí na to, aby byla pravdivá než jakýkoliv předpoklad, který byl vysloven člověkem, který se nezabývá vědou. Tato otázka však není předmětem naší pozornosti v této kapitole.

Předmětem, kterým se nyní budeme zabývat, není pravdivost, ale *interpretace*. Často se stává, že máme, jak se zdá, dostatečný důvod k tomu, abychom věřili v pravdivost nějaké formule vyjádřené v matematických symbolech, ačkoli nejsme s to podat jasné definice symbolů. V jiných případech se také stává, že symbolům můžeme přiřadit několik různých smyslů, z nichž všechny způsobí pravdivost formule. V prvém případě nedisponujeme naprosto žádnou určitou interpretací naší formule, zatímco v druhém případě máme mnoho interpretací. Tato situace, která se může zdát podivnou, vzniká v čisté matematice a v matematické fyzice. Vzniká dokonce při intrepretaci takového tvrzení zdravého rozumu, jako je „moje místnost má tři stolky a čtyři židle". Takto lze ukázat, že existuje velká třída tvrzení, vzhledem k nimž si budeme v určitém ohledu více jisti jejich pravdivostí než jejich smyslem. Interpretace se týká takových tvrzení. Tkví v tom, že zjistíme pokud možno přesný smysl tvrzení tohoto druhu, nebo někdy v tom, že zjistíme celý systém možných smyslů.

Vezmeme nejdříve příklad z čisté matematiky. Lidé byli dávno přesvědčeni, že $2 + 2 = 4$. Byli o tom tak pevně přesvědčeni, že to bylo bráno jako pádný příklad něčeho jistého. Když se však, lidí ptali, co míní symboly „2", „4", „ + " a „=", dávali vágní a rozmanité odpovědi, které ukazovaly, že nevědí, co tyto symboly znamenají. Někteří se domnívali, že známe každé z čísel intuitivně, a proto je nepotřebujeme definovat. To se mohlo zdát zcela přijatelným potud, pokud šlo o malá čísla, avšak kdo by mohl mít intuici čísla 3 478 921? Proto říkali, že máme intuici „1" a „ + "; pak můžeme definovat „2" jako „1+1", „3" jako „2+1", „4" jako „3 + 1" atd. Avšak to neuspokojovalo. Umožňovalo to, abychom řekli, že $2 + 2 = (1 + 1) + (1 + 1)$ a že $4 = \{(1 + 1) + 1\} + 1$, což však vyjadřovalo další intuici k tomu, abychom řekli, jak lze opět uspořádat závorky, a abychom mohli opravdu tvrdit, že jestliže l, m, n, jsou tři čísla, pak

$$(l + m) + n = l + (m + n).$$

Někteří filosofové byli s to produkovat tuto intuici na požádání,

avšak většina lidí zůstávala k jejich tvrzení poněkud skeptická a pociťovala, že zde je zapotřebí jiných metod.

Za nový vývoj vhodnější pro náš problém interpretace vděčíme Peanovi. Peano začal s třemi nedefinovanými termíny — s „0", „konečným celým číslem (nebo číslem)" a „následovníkem". O těchto termínech vyslovil pět předpokladů, a to:

(1) 0 je číslo.
(2) Jestliže a je číslo, pak následovník a (tj. $a + 1$) je číslo.
(3) Jestliže dvě čísla mají téhož následovníka, jsou tato dvě čísla totožná.
(4) 0 není následovníkem žádného čísla.
(5) Jestliže s je třída, do níž patří 0 a rovněž následovník každého čísla patřícího do s, pak každé číslo patří do s.

Poslední z těchto předpokladů je princip matematické indukce.

Peano dokázal, že pomocí těchto pěti předpokladů můžeme dokázat jakoukoliv formuli v aritmetice.

Nyní však vznikla nová obtíž. Předpokládalo se, že nemusíme znát, co značí „0", „číslo", „následovník", pokud máme na mysli něco, co splňuje těchto pět předpokladů. Ukázalo se však, že existuje nekonečný počet možných interpretací. Nechť například „0" značí to, co obvykle nazýváme „1", nechť „číslo" značí to, co obvykle nazýváme „číslem odlišným od 0"; pak všech pět předpokladů zůstává pravdivými a lze dokázat celou aritmetiku, i když každá formule bude mít neočekávaný smysl. „2" budou značit to, co obvykle nazýváme „3", avšak výraz „2 + 2" nebude značit „3 + 3"; bude znamenat „3 + 2", „2 + 2 = 4" bude znamenat to, co obvykle vyjadřujeme pomocí „3 + 2 = 5". Podobným způsobem bychom mohli interpretovat aritmetiku za předpokladu, že „0" značí „100" a „číslo" značí „číslo větší než 99" atd.

Pokud zůstáváme v oblasti aritmetických formulí, všechny tyto různé interpretace „čísla" jsou stejně dobré. Pouze tehdy, přistoupíme-li k empirickému užití čísel při vypočítávání, najdeme důvod k tomu, abychom dali přednost jedné interpretaci před

ostatními interpretacemi. Kupujeme-li něco v obchodě a prodavač řekne „tři šilinky, prosím", jeho „tři" již není čistě matematickým symbolem, který značí „třetí symbol od počátku nějaké řady". Jeho „tři" již ve skutečnosti nelze definovat pomocí *aritmetických* vlastností. Je zřejmé, že jeho interpretace „tří" mimo rámec aritmetiky má přednost před vším ostatním, co Peanův systém připouští jako možné. Taková tvrzení jako „lidé mají 10 prstů", „psi mají 4 nohy", „New York má 10 000 000 obyvatel" vyžadují takovou definici čísel, která nemůže být odvozena z prostého faktu, že splňuje formule aritmetiky. Taková definice je tedy neuspokojivou „interpretací" číselných symbolů.

Situace podobného druhu vzniká vždy tehdy, jestliže se matematika aplikuje na empirický materiál. Vezměme si například geometrii, nikoliv však jakožto logické cvičení ve vyvozování závěrů z libovolně přijatých axiómů, ale jako obor, který pomáhá při zeměměřičství, při mapování, v inženýrství nebo v astronomii. Taková praktická užití geometrie jsou spjata s obtížemi, které, i když je někdy v nějaké míře připouštíme, nikdy nebereme příliš vážně. Geometrie, tak jak ji vykládají matematikové, používá bodů, přímek, rovin a kružnic, avšak bylo by bláhové říkat, že žádné takové objekty nelze v přírodě nalézt. Když se v zeměměřičství používá procesu triangulace, připouští se, že naše trojúhelníky nemají přesně rovné přímky pro své strany ani přesné body pro své vrcholy, avšak to se zastírá tím, že řekneme, že tyto strany jsou *přibližně* rovné a vrcholy jsou *přibližně* body. Význam toho není zcela jasný, pokud máme za to, že neexistují přesně rovné přímky nebo body, vzhledem k nimž se naše takto zhruba naznačené přímky a body přibližují. Můžeme se domnívat, že vnímané přímky a body mají přibližně ty vlastnosti, které byly stanoveny v Euklidových definicích a axiómech, avšak pokud nemůžeme říci, v jakých mezích mají tyto vlastnosti, pak ať je aproximace jakkoliv blízká, takové hledisko způsobuje, že kalkulace je vágní a neuspokojivá.

Tento problém exaktnosti matematiky a neexaktnosti smyslů je dávným problémem, který Platón řešil pomocí fantastické hypotézy o reminiscenci. V novějších dobách se podobně jako na jiné

neřešené problémy na tento problém zapomnělo proto, že jsme se s ním sžili, podobně jako je tomu se zápachem, který si neuvědomíte proto, že jste v něm tak dlouho žili. Je jasné, že má-li být geometrie aplikována na smyslový svět, musíme být s to nalézt definice bodů, přímek, ploch atd. v termínech smyslových dat nebo jinak musíme být schopni vyvodit ze smyslových dat existenci nevnímaných entit, které mají ty vlastnosti, které potřebuje geometrie.

Existuje i neempirická interpretace, která přenechává geometrii sféře čisté matematiky. Souhrn všech uspořádaných trojic reálných čísel tvoří třírozměrný Euklidův prostor. V této interpretaci je celá Euklidova geometrie dedukovatelná z aritmetiky. Každá neeuklidovská geometrie připouští podobnou aritmetickou interpretaci. Lze dokázat, že Euklidova geometrie a každá forma neeuklidovské geometrie může být aplikována vzhledem ke každé třídě, která má stejný počet termínů, jako je reálných čísel; otázka o počtu rozměrů a o tom, zda takto vyvozená geometrie je euklidovská nebo neeuklidovská, bude záviset na pořádajících vztazích, které si zvolíme. Existuje v logickém smyslu nekonečný počet pořádajících vztahů a pouze důvody empirické výhodnosti nás mohou přivésti k výběru některého z nich podle toho, který zasluhuje zvláštní pozornost. Vše to je relevantní při posuzování toho, která interpretace čisté geometrie je lépe přijatelná pro inženýra nebo fyzika. Ukáže se, že v empirické interpretaci musí být definován v empirických termínech pořádající vztah, a ne pouze uspořádané termíny.

Velmi podobné úvahy se vztahují k času, který však, pokud se týká naší dané otázky, není tak obtížným problémem jako prostor. V matematické fyzice je čas chápán jako něco, co se sestává z okamžiků, i když studenta, který je z toho zmaten, ujišťují, že okamžiky jsou matematické fikce. Nepodnikají se žádné pokusy ukázat mu, proč jsou fikce užitečné nebo jaký je jejich vztah k tomu, co není fiktivní. Student zjišťuje, že pomocí těchto pohádek je možno vypočítat to, co se děje ve skutečnosti, a po určité době pravděpodobně přestane se znepokojovat nad tím, proč tomu tak je.

Ne vždy byly okamžiky považovány za fikce. Newton je považoval za stejně „reálné" jako Slunce a Měsíc. Když byl tento názor opuštěn, bylo snadné přejít k protichůdnému extrému a zapomenout, že fikce, která je užitečná, není zřejmě jen pouhou fikcí. Existují stupně fiktivnosti. Podívejme se na okamžik na jednotlivou osobu jako na něco, co není v žádné míře fiktivní; co pak řekneme různým skupinám osob, k nimž tato osoba patří? Většina lidí by váhala považovat rodinu za fiktivní jednotku, jak je to však s politickou stranou nebo kriketovým klubem? Jak je tomu se skupinou osob zvaných „Smith", k níž, jak předpokládáme, patří naše individuum? Věříte-li v astrologii, budete připisovat důležitost skupině osob, které se narodily za určité planety, nevěříte-li, budete pokládat takovou skupinu za fiktivní. Tyto rozdíly nejsou logické; z logického hlediska jsou všechny skupiny individuí stejně reálné nebo stejně fiktivní. Důležitost těchto rozdílů je praktická, a nikoliv logická; jsou některé skupiny, o nichž lze říci mnoho užitečných věcí, a skupiny, o nichž to nelze říci.

Řekneme-li, že okamžiky jsou *užitečné* fikce, musíme předpokládat, že tím míníme to, že existují entity, jimž, podobně jako jednotlivým lidem, se cítíme nakloněni přiřazovat vysoký stupeň „reality" (ať již to znamená cokoliv), a to, že ve srovnání s tím mají okamžiky menší stupeň „reality" než kriketové kluby ve vztahu ke svým členům; chceme tím však také říci, že o okamžicích podobně jako o rodinách v protikladu k „umělým" skupinám je možno říci mnoho prakticky důležitých věcí.

Vše to je velice vágní a problém interpretace je tak problémem substituce něčeho přesného, přičemž si musíme vždy připomenout, že ať jsme již definovali okamžiky jakkoliv, musí mít ty vlastnosti, které požaduje matematická fyzika. Existují-li dvě interpretace, z nichž každá splňuje tyto požadavky, je výběr mezi nimi záležitostí vkusu a konvence; není zde jedna interpretace, která je „správná", a jiné, které jsou „nesprávné".

V klasické fyzice se technický aparát sestává z bodů, okamžiků a částic. Předpokládá se, že jsou zde třímístné vztahy, tj. zaujímat bod v okamžiku, přičemž to, co zaujímá bod v okamžiku, se nazývá „částicí". Po technické stránce se rovněž předpokládá, že

částice jsou nezničitelné, takže to, co zaujímá nějaký bod v daném okamžiku, zaujímá *nějaký* bod v jakémkoliv jiném okamžiku. Říkám-li, že se to předpokládá, nemám tím na mysli to, že je to tvrzeno jako fakt, avšak to, že technika se zakládá na předpokladu, který nepřinese žádnou škodu, budeme-li s ním nakládat jako s faktem. To je uznáváno pro oblast makroskopické fyziky, avšak v mikroskopické fyzice „částice" postupně zmizely. „Hmoty" ve starém smyslu již není zapotřebí; je zapotřebí „energie", která není definována s výjimkou těch případů, jde-li o její zákony a o vztahy změn v jejím rozložení vzhledem k našim počitkům, zvláště o vztahy četností vzhledem k barevným vjemům.

Obecně řečeno, můžeme konstatovat, že základní technický aparát moderní fyziky je čtyřrozměrná mnohotvárnost „událostí" uspořádaných časoprostorovými vztahy, které lze rozložit na prostorové a časové komponenty rozmanitými způsoby, jejichž výběr je libovolný. Pokud se užívá matematické analýzy, technicky se ještě předpokládá, že časoprostor je spojitý, avšak není jasné, nakolik je tento předpoklad jen matematickou konvencí. Není rovněž jasné, zda „události" lze přesně lokalizovat v časoprostoru, kterého užíváme k charakteristice částice v nějakém okamžiku. Vše to způsobuje, že otázka interpretace v moderní fyzice je velice složitá, avšak není-li zde *nějaká* interpretace, nemůžeme říci, co nám tvrdili kvantoví fyzikové.

„Interpretace" ve své logické podobě se tedy poněkud odlišuje od vágního a obtížného pojmu, o němž jsme uvažovali na začátku této kapitoly. Zabývali jsme se tam symbolickými tvrzeními, o nichž víme, že mají vztah k pozorovatelným jevům a vedou k výsledkům, které jsou potvrzovány pozorováním, která jsou však poněkud neurčitá z hlediska jejich smyslu s výjimkou těch případů, kdy je definuje jejich souvislost s pozorováním. V tomto případě můžeme říci, jak jsme řekli na počátku této kapitoly, že jsme si zcela jisti, že naše formule jsou pravdivé, že však si nejsme zcela jisti v tom, co značí. V logice však postupujeme odlišně. Nepohlížíme na naše formule jako na „pravdivé" nebo „nepravdivé", ale jako na hypotézy, které obsahují proměnné. Množina hodnot proměnných, které dělají hypotézu pravdivou, je „inter-

pretací". Slovo „bod" v geometrii může být interpretováno jako smysl „uspořádané trojice reálných čísel" nebo, jak uvidíme, jako smysl toho, co budeme nazývat „úplným komplexem koexistence"; může být také interpretován nekonečně mnoha jinými způsoby.

Jak v čisté, tak také v aplikované matematice máme často soubory formulí, které jsou všechny logicky odvoditelné z malého počtu počátečních formulí, které můžeme nazvat „axiómy". Tyto axiómy můžeme považovat za záruky pro celý systém a můžeme soustředit naši pozornost výlučně k těmto axiómům. Axiómy sestávají zčásti z termínů, které mají známé definice, zčásti z termínů, které v libovolné interpretaci zůstávají proměnnými, a zčásti z termínů, které, ač jsou dosud nedefinovány, vyžadují, aby byly definovány, jsou-li axiómy „interpretovány". Proces interpretace tkví v tom, že nalezneme stálý význam pro tuto třídu termínů. Význam jim může být přiřazen pomocí verbální definice nebo pomocí ostenzívní definice. Musí být takový, aby při této interpretaci axiómy zůstaly pravdivé. (Před interpretací nejsou ani pravdivé, ani nepravdivé.) Z toho pak plyne, že všechny jejich důsledky jsou rovněž pravdivé.

Předpokládejme například, že chceme interpretovat formule aritmetiky. V pěti Peanových axiómech (které jsme uvedli výše) jsou to: za prvé logické termíny jako „je" a „je totožný s", o jejichž smyslu předpokládáme, že jej známe; za druhé proměnné jako *a* a *s*, které zůstávají proměnnými i po interpretaci; za třetí termíny „0", „číslo" a „následovník", pro nějž interpretace znamená nalezení takového konstantního smyslu, který způsobí, že pět axiómů je pravdivých. Jak jsme viděli, je zde nekonečný počet interpretací, které splňují tyto podmínky, je však pouze jediná z nich, která také splňuje taková enumerační empirické tvrzení, jako je například: „Mám 10 prstů." V tomto případě tedy existuje jedna interpretace, která je značně vhodnější než jakákoliv z ostatních interpretací.

Jak jsme viděli v případě geometrie, daná množina axiómů připouští dva druhy interpretace, jeden logický a jiný empirický. Všechny nominální definice, lze-li je dostatečně projít, musí vést konec konců k termínům, které mají pouze ostenzívní definice,

a v případě empirické vědy musí empirické termíny záviset na termínech, jejichž ostenzívní definice je dána ve vjemech. Astronomovo Slunce se například značně liší od toho, které vidíme, avšak musí mít definici, která je odvoditelná z ostenzívní definice slova „Slunce", kterému jsme se naučili v dětství. Empirická interpretace množiny axiómů, je-li množina úplná, musí tedy vždy v sobě zahrnovat užití termínů, které mají ostenzívní definice odvoditelné ze smyslové zkušenosti. Nebude ovšem obsahovat pouze takové termíny, neboť v ní vždy budou logické termíny; je to však přítomnost termínů odvoditelných ze zkušenosti, která způsobuje, že nějaká interpretace je empirickou interpretací.

Otázka interpretace byla neoprávněně opomíjena. Pokud zůstáváme v oblasti matematických formulí, vše se zdá přesným, když se však pokusíme je interpretovat, ukáže se, že tato přesnost je zčásti iluzorní. Pokud tato záležitost nebyla vyjasněna, nemůžeme s nějakou přesností říci, co vlastně daná věda tvrdí.

Minimální slovníky — Kapitola /II/

V této kapitole se budeme zabývat lingvistickou technikou, která je velice užitečná při analýze vědeckých pojmů. Zpravidla existuje několik způsobů, podle nichž lze definovat slova, kterých se užívá ve vědě, v termínech několika málo těchto slov. Těchto několik málo termínů může mít ostenzívní definice nebo nominální definice v termínech slov, která nepatří k uvažované vědě, nebo — pokud věda není „interpretována" v tom ohledu, který jsme naznačili v předchozí kapitole — může být ponecháno bez jakékoli ostenzívní nebo nominální definice a může být považováno prostě za množinu termínů, které mají ony vlastnosti, které věda připisuje svým základním termínům. Takovou množinu počátečních slov nazývám „minimálním slovníkem" uvažované vědy za předpokladu, že

(a) každé jiné slovo užívané ve vědě má nominální definici v termínech těchto slov a

(b) žádné z těchto počátečních slov nemá nominální definici v termínech jiných počátečních slov.

Vše, co lze ve vědě říci, může být řečeno pomocí slov minimálního slovníku. Kdykoliv se vyskytuje slovo, které má nominální definici, můžeme je nahradit definující frází; jestliže tato fráze obsahuje slova s nominální definicí, můžeme je znovu nahradit definující frází atd., až již žádné ze zbylých slov nemá nominální definici. Definovatelné termíny jsou skutečně přebytečné a nezbytné jsou pouze nedefinované termíny. Avšak otázka, které termíny mají zůstat nedefinovány, je zčásti věcí libovůle. Vezměme například výrokový kalkul, který je nejjednodušším a nejúplnějším příkladem formálního systému. Můžeme vzít „nebo" a „ne" jakožto nedefinované termíny, nebo „a" a „ne"; místo takové dvojice nedefinovaných termínů můžeme vzít jediný, kterým může být „ne ten nebo ne ten" nebo „ne ten a ne ten". Obecně tedy nemůžeme říci, že taková a taková slova musí patřit do minimálního slovníku, ale můžeme nanejvýše říci, že existuje jeden nebo více minimálních slovníků, do nichž patří.

Vezměme si jako příklad zeměpis. Budu předpokládat, že slovník geometrie již byl ustaven; pak naší první zjevně zeměpisnou potřebou je metoda stanovení (zeměpisné) šířky a délky. Pro to postačí, abychom měli jako části našeho minimálního slovníku „Greenwich", „severní pól" a „západně od"; jakékoliv jiné místo by se však zřejmě k tomu hodilo stejně dobře jako Greenwich a jižní pól by se hodil stejně dobře jako severní pól. Vztah „západně od" není rovněž nezbytný, neboť čára, která je rovnoběžná s šířkou, je kružnicí na zemském povrchu na ploše, která je kolmá vzhledem k průměru, který prochází severním pólem. Ostatní slova užívaná ve fyzikálním zeměpise jako „souše", „voda", „hora" a „rovina" mohou být nyní definována v termínech chemie, fyziky nebo geometrie. Mohlo by se tak zdát, že jsou pouze dvě slova — „Greenwich" a „severní pól" — kterých je zapotřebí k tomu, abychom udělali ze zeměpisu vědu, která se týká povrchu Země, a nikoliv nějakého jiného sférického tělesa. Díky tomu, že máme k dispozici tato dvě slova (nebo jiná slova sloužící k těmže účelům), je zeměpis s to referovat o objevech

cestovatelů. Je nutno poznamenat, že tato dvě slova se vyskytují všude tam, kde je zmínka o šířce a délce.

Jak ukázal tento příklad, věda, stává-li se systematičtější, je s to vyžadovat menší minimální slovník. Naši předkové znali mnoho zeměpisných faktů ještě před tím, než se naučili určovat šířku a délku, avšak k vyjádření těchto faktů potřebovali větší počet nedefinovaných slov než jich potřebujeme my. Poněvadž Země je sférické těleso, a nikoliv přesná koule, „severní pól" nemusí být nedefinovaným: můžeme definovat oba póly jako krajní body nejkratšího zemského průměru a severní pól jako ten pól, který je blíže Greenwichi. Takovým způsobem můžeme vystačit s „Greenwichem" jako s jediným nedefinovaným termínem, který je specifický pro zeměpis. Země samotná je definována jako „sférické těleso, jehož povrch tvoří souše a moře, obklopené atmosférou, na jehož povrchu se nachází Greenwich". Zde však, jak se zdá, jsme se dostali na cestě zmenšování minimálního slovníku do slepé uličky. Chceme-li si být jisti, že mluvíme o Zemi, musíme uvést nějaké místo na jejím povrchu nebo místo, které má k ní daný geometrický vztah, a toto místo musí být takové, že je můžeme rozeznat. Proto i když se k tomu hodí stejně dobře jako „Greenwich", „New York" či „Moskva" nebo „Timbuktu", přece jen *nějaké* místo musí být zařazeno do minimálního slovníku pro zeměpis.

Naše diskuse o Greenwichi ilustruje ještě další moment, a to ten, že termíny, které jsou ve vědě oficiálně nedefinovány, nemusí být totožné s oněmi termíny, které jsou nedefinovány pro danou osobu. Když jste nikdy Greenwich neviděli, nemůže mít slovo „Greenwich" pro vás ostenzívní definici; proto nemůžete porozumět tomuto slovu potud, pokud nemá nominální definici. Žijete-li na místě nazvaném „P", pak pro vás „P" ve skutečnosti zaujímá místo Greenwiche a vaše oficiální délka vám definuje poledník Greenwiche, nikoliv délku P.

Takové úvahy jsou však předvědecké a zpravidla je při analýze vědeckých pojmů ignorujeme. Pro jisté účely je ignorovat nelze, zvláště tehdy, uvažujeme-li vztahy vědy ke smyslové zkušenosti; pak však zpravidla jejich ignorování není nebezpečné.

Uvažujme dále o otázce minimálního slovníku pro astronomii. Astronomie sestává ze dvou částí, z nichž jedna je druhem kosmického zeměpisu, druhá je aplikací fyziky. Tvrzení, která se týkají poloh a oběžných drah planet, patří do kosmického zeměpisu, zatímco Newtonova a Einsteinova teorie gravitace patří do fyziky. Rozdíl tkví v tom, že v zeměpisné části máme co činit s tvrzeními o faktech, o tom, co a kde je, zatímco v té části, která je fyzikou, máme co činit se zákony. Poněvadž se budu ještě zabývat fyzikou samotnou, povšimneme si nejdříve zeměpisné části astronomie. V této části, pokud je ve svém elementárním stadiu, potřebujeme vlastní jména pro Slunce, Měsíc a planety a pro všechny hvězdy a mlhoviny. Počet potřebných vlastních jmen může však být postupně redukován v té míře, v níž se astronomická věda rozvíjí. „Merkur" může být definován jako „planeta, která je nejblíže Slunci", „Venuše" jako „druhá planeta", „Země" jako „třetí planeta" atd. Souhvězdí jsou definována svými souřadnicemi a jednotlivé hvězdy v souhvězdí podle svého stupně jasnosti.

V této soustavě „Slunce" zůstane součástí minimálního slovníku a budeme potřebovat to, co je nezbytné k definování nebeských souřadnic. Slovo „Polárka" nebude nezbytné, pokud tato hvězda může být definována jako „hvězda, která v průběhu dne i noci se neotáčí", avšak budeme potřebovat nějaké jiné nebeské těleso, které by splňovalo tu funkci, kterou splňuje v zeměpise Země Greenwich. Takovým způsobem oficiální astronomie (jak se zdá) by mohla vyjít pouze se dvěma vlastními jmény, a to se „Sluncem" a dejme tomu „Síriem". Například „Měsíc" může být definován jako „těleso, jehož souřadnice jsou v tom a v tom okamžiku takové a takové". Pomocí tohoto slovníku můžeme v jistém smyslu formulovat vše, co chce astronom říci, právě tak jako pomocí Peanových tří nedefinovaných termínů můžeme zformulovat celou aritmetiku.

Avšak podobně jako Peanův systém se ukáže neadekvátním, přejdeme-li k počítání, podobně také se ukáže neadekvátní naše oficiální astronomie, pokusíme-li se spojit ji s pozorováním. Jsou zde dvě podstatné věty, které není s to v sobě zahrnovat, a sice: „toto je Slunce" a „toto je Sírius". Sestavili jsme, jak se zdá,

slovník pro abstraktní astronomii, a nikoliv pro astronomii jakožto zápis pozorování.

Platón, který se zajímal o astronomii pouze jakožto výraz zákonů, chtěl, aby byla zcela odloučena od smyslů; ti, kteří by se zajímali o skutečná nebeská tělesa, budou, jak říkal, v dalším převtělení tím, že se stanou ptáky. Toto hledisko dnes mužové vědy nepřijímají, avšak toto hledisko nebo jiné velice podobné hledisko lze nalézt v pracích Carnapa a některých jiných logických pozitivistů. Myslím, že nezastávají nějaký takový názor vědomě a rázně by jej odvrhli; avšak rozplývání se ve slovech na rozdíl od toho, co slova znamenají, je vydalo na pospas svodům platónismu a přivedlo je podivným způsobem ke zkáze nebo k tomu, co empirik musí za zkázu pokládat. Astronomie není pouze souhrnem slov a vět; je to soubor slov a vět, který je vybrán z jiných slov a vět, které by po lingvistické stránce byly právě tak dobré, poněvadž by popisovaly svět spjatý se smyslovou zkušeností. Jakmile ignorujeme smyslovou zkušenost, neexistují žádné důvody pro to, abychom se nezabývali nějakým velikým tělesem, které by mělo právě tolik planet ve stejných vzdálenostech od tohoto tělesa. A věty, pomocí nichž proniká smyslová zkušenost, jsou takové věty, jako je „toto je Slunce".

Každá pokročilá empirická věda má dva aspekty: na jedné straně se skládá ze soustavy vět, které jsou různým způsobem vzájemně spjaty a které často obsahují malý výběr ze souboru všech ostatních vět, které mohou být odvozeny; na druhé straně je pokusem popsat určitou část nebo aspekt vesmíru. V prvním aspektu není předmětem pozornosti pravdivost nebo nepravdivost některých vět, ale pouze jejich vzájemné vztahy. Jestliže například gravitace se mění přímo úměrně se vzdáleností, planety (jestliže existují) se otáčejí kolem Slunce (jestliže existuje) po elipsách v nichž Slunce zaujímá střed, a nikoliv ohnisko. Tato věta není součástí popisné astronomie. Existuje podobná věta, která rovněž není součástí popisné astronomie, která říká, že gravitace se mění nepřímo úměrně se čtvercem vzdálenosti, planety (existují-li) se budou otáčet kolem Slunce (jestliže existuje) po elipsách, v nichž Slunce zaujímá jejich ohnisko. To se liší od dalších dvou vět: gra-

vitace se mění nepřímo úměrně se čtvercem vzdálenosti; planety se otáčejí po elipsách kolem Slunce nacházejícím se v jejich ohnisku. První z obou vět je hypotetická; druhá tvrdí jak antecedent, tak konsekvent první hypotetické věty. To, co to umožňuje, je odkaz na pozorování.

Odkaz na pozorování je proveden v takovém tvrzení, jako je „toto je Slunce". Takové tvrzení je proto podstatné pro pravdivost astronomie. Taková tvrzení se nikdy nevyskytují v nějakém uzavřeném výhledu astronomické teorie, avšak vyskytují se tehdy, je-li teorie teprve budována. Například po pozorování zatmění v roce 1919 mluvili jsme o tom, že na fotografiích se vyskytují určité hvězdy v takové a takové vzdálenosti od Slunce. Bylo to tvrzení o pozici určitých bodů na fotografické desce, jak byly pozorovány určitými astronomy v určité době; bylo to tvrzení, které primárně nepatřilo do astronomie, ale do životopisu, avšak přece jen to představovalo svědectví ve prospěch důležité astronomické teorie.

Ukazuje se tak, že slovník astronomie je širší v tom případě, jestliže ji považujeme za soustavu vět, které jsou s to ze zkušenosti odvozovat pravdivost nebo alespoň pravděpodobnost, než v tom případě, jestliže jsme ji považovali za čistě hypotetický systém, jehož pravdivost nebo nepravdivost se nás netýká. V prvním případě musíme být s to říci „toto je Slunce" nebo něco podobného; v druhém případě taková nezbytnost nevznikne.

Fyzika, s níž se musíme dále zabývat, je na rozdíl od zeměpisu a astronomie v jiné situaci, neboť se nezabývá tím, aby říkala, co a kde existuje, ale pouze aby vytyčovala obecné zákony. „Měď je vodičem elektřiny" je zákon fyziky, avšak „měď se nachází v Cornwallu" je faktem zeměpisu. Fyzik jako takový se nestará, kde se měď nachází, pokud jí má dostatek ve své laboratoři.

Ve starších stadiích vývoje fyziky slovo „měď" bylo nutným, avšak nyní je toto slovo definovatelné. „Měď" je „prvkem, jehož atomové číslo je 29", a tato definice nám postačí dedukovat mnoho věcí o atomu mědi. Všechny prvky mohou být definovány v termínech elektronů a protonů nebo v každém případě pomocí elektronů, pozitronů, neutronů a protonů. (Je možné, že proton

se skládá z neutronu a pozitronu.) Tyto jednotky samotné mohou být definovány pomocí svých hmot a elektrických nábojů. V této analýze, jestliže hmota je forma energie, mohlo by se zdát, že energie, elektrický náboj a čas prostorové souřadnice jsou tím vším, co fyzika potřebuje; díky tomu, že zde neexistuje zeměpisný element, mohou souřadnice zůstat zcela hypotetické, tj. není zde zapotřebí analogie s Greenwichem. Fyzika jakožto „čistá" věda, tj. bez ohledu na metody verifikace, by tak zřejmě vyžadovala pouze čtyřrozměrné kontinuum, které obsahuje rozložení měnících se množství energie a elektřiny. K tomu se hodí jakékoliv čtyřrozměrné kontinuum a „energie" a „elektřina" musí se stát jen kvantitami, u nichž způsob změn v jejich rozložení by podléhal určitým, těmto kvantitám vlastním zákonům.

Když fyzika dosáhla tohoto stupně abstrakce, stala se odvětvím čisté matematiky, kterým je možno se zabývat bez ohledu na aktuální svět a které nepotřebuje žádný jiný slovník než slovník čisté matematiky. Tato matematika je však taková, že žádný čistý matematik by sám na ni nepřišel. Například její rovnice obsahují Planckovu konstantu h, jejíž velikost je asi $6{,}55 \times 10^{-27}$ erg/sec. Nikdo by nepřišel na to zavést právě takovou kvantitu, kdyby zde pro to nebyly experimentální důvody, a jakmile zavedeme experimentální důvody, celý obraz se mění. Čtyřrozměrné kontinuum již není čistě matematickou hypotézou, ale časoprostorovým kontinuem, k němuž jsme dospěli postupným očišťováním toho prostoru a času, s nímž jsme ve styku ve zkušenosti. Elektřina již není pouhou kvantitou, ale věcí, která je měřena pomocí pozorovatelného chování našich elektrických přístrojů. Energie, i když je vysoce abstraktní, je přece jen generalizací, k níž jsme dospěli pomocí zcela konkrétních experimentů, jako je například experiment Jouleův. Fyzika jakožto verifikovatelná věda tedy užívá různých empirických pojmů dodatkem k oněm čistě abstraktním pojmům, kterých je zapotřebí v „čisté" fyzice.

Prozkoumejme podrobněji definici takového termínu, jako je „energie". Podstatným rysem energie je její konstantnost a hlavním krokem, který vedl k zjištění této konstantnosti, bylo zjištění mechanického ekvivalentu tepla. Toho bylo dosaženo pozorováním

teploměru. Jestliže pak „fyzikou“ rozumíme nejen souhrn fyzikálních zákonů, ale tyto zákony spolu s evidencí pro jejich pravdivost, musíme pak zařadit do „fyziky“ Jouleovy vjemy, když tento pozoroval teploměry. Co pak rozumíme slovem „teplo“? Prostý člověk tím míní určitý druh počitků nebo (jemu) neznámou příčinu těchto počitků; fyzik tím míní rychlý chaotický pohyb nejmenších částic těles. Co však přivedlo fyzika k této definici? Pouze ten fakt, že když *pociťujeme* teplo, je zde důvod myslet si, že se takový pohyb vyskytuje. Nebo vezmeme si skutečnost, že tření způsobuje teplo: naší prvotní evidencí tohoto faktu je to, že když jsme viděli tření, můžeme pociťovat teplo. Všechny nematematické termíny užívané ve fyzice, pokud ji považujeme za experimentální vědu, mají svůj původ v naší smyslové zkušenosti a pouze proto může smyslová zkušenost potvrzovat nebo vyvracet fyzikální zákony.

Je tak zřejmé, že jestliže fyziku považujeme za vědu založenou na pozorování a nikoliv za odvětví čisté matematiky a jestliže evidence vzhledem k fyzikálním zákonům je považována za součást fyziky, pak jakýkoliv minimální slovník pro fyziku musí být takový, aby nám umožňoval vyjadřovat se o zkušenostech, na nichž jsou založeny naše fyzikální víry. Budeme potřebovat taková slova jako „teplý“, „červený“, „tvrdý“ nejen k popisu toho, o čem fyzika tvrdí, že je to podmínkou těles, která nám poskytují tyto počitky, ale také k popisu počitku samotných. Předpokládejme, že například říkám: „Červeným“ světlem rozumím světlo takové a takové vlnové délky. V tomto případě tvrzení, že světlo takové vlnové délky mi umožňuje vidět červené, je tautologie, a až do devatenáctého století vyslovovali bezesmyslný šum, když říkali, že krev je červená, neboť o spojitosti vlnových délek a počitků barev nebylo nic známo. To je absurdní. Je zřejmé, že slovo „červený“ má smysl nezávisle na fyzice a že tento smysl je relevantní při shromažďování dat pro fyzikální teorii barev právě tak, jako předvědecký smysl slova „teplý“ je relevantní pro vytvoření fyzikální teorie tepla.

Hlavním závěrem dosavadní diskuse o minimálních slovnících je to, že každá empirická věda, ať je jakkoliv abstraktní, musí

obsahovat v nějakém minimálním slovníku slova, která popisují naši zkušenost. Dokonce i v největší míře matematické termíny, jako je „energie“, musí, je-li řetěz definic úplný a dojdeme-li k termínům, které mají pouze ostenzívní definici, záviset ve svém smyslu na termínech, které přímo popisují zkušenost, nebo dokonce v těch vědách, které můžeme charakterizovat jako „geografické“, na termínech, které jsou pojmenováním jednotlivých zkušeností. Tento závěr, je-li platný, je důležitý a velmi nám pomůže při interpretaci vědeckých teorií.

Struktura — Kapitola /III/

V této kapitole se budeme zabývat čistě logickými úvahami, které jsou důležité jako východisko k dalším krokům v interpretaci vědy. Logickým pojmem, který se budu snažit vyložit, je pojem „struktury“.

Ukázat strukturu nějakého objektu znamená zmínit se o jeho částech a o způsobech, jimiž jsou tyto části uvedeny do vzájemných vztahů. Kdybyste se učili anatomii, museli byste se nejdříve naučit názvům a tvarům různých kostí a pak tomu, kde každá kost je spjata s kostrou. Potom byste poznali strukturu kostry natolik, jak o ní je s to mluvit anatomie. Nemohli byste však přijít ke všemu, co lze říci o struktuře kostry. Kosti jsou složeny z buněk, buňky z molekul a každá molekula má svoji anatomickou strukturu, jejíž studium je záležitostí chemie. Pokud jde o atomy, i ty mají svoji strukturu, kterou studuje fyzika. V tomto bodě ortodoxní věda přestává se svou analýzou, není však důvodů předpokládat, že další analýza je nemožná. Budeme mít příležitost zdůraznit analýzu fyzikálních entit na struktury událostí a právě události, jak se pokusím ukázat, mohou být výhodně studovány jako něco, co má strukturu.

Podívejme se dále na poněkud jiný příklad struktury, a sice na větu. Věta je posloupnost slov, uspořádaných pomocí vztahu mezi tím, co je dříve, a tím, co je později — jde-li o mluvenou větu

— a vztahu mezi tím, co je nalevo, a tím, co je napravo — jde-li o psanou větu. Tyto vztahy však ve skutečnosti nejsou vztahy mezi slovy; jsou to vztahy mezi *instancemi* slov. Slovo je třídou podobných hluků, které všechny mají tentýž význam nebo téměř tentýž význam. (Pro jednoduchost se omezím na mluvenou řeč na rozdíl od psané.)

Věta je rovněž třída hluků, neboť mnoho lidí může vyslovit tutéž větu. Musíme pak říci, že věta není časovou posloupností slov, ale že věta je třída hluků, z nichž každý sestává z posloupnosti zvuků, které za sebou v krátkých intervalech následují, při čemž každý z těchto zvuků je nějakou instancí slova. (To je nutná, nikoliv však postačující charakteristika věty, není postačující proto, že některé posloupnosti slov nejsou signifikantní.) Nebudu se zdržovat rozlišováním různých částí řeči, ale přejdu k další etapě analýzy, která již nepatří do syntaxe, ale do fonetiky. Každá instance slova je složitý zvuk, jehož částmi jsou různé hlásky (předpokládáme zde fonetickou abecedu). Za fonetickou analýzou je další etapa: analýza složitých fyziologických procesů vyslovování a slyšení jednotlivých hlásek. Za fyziologickou analýzou je analýza fyzikální a od tohoto bodu analýza dále pokračuje podobně jako v příkladě s kostmi.

V dosavadním výkladu jsem se jen zmínil o dvou momentech, které je třeba objevit, a sice o tom, že slova mají *význam* a věty mají *signifikaci*. „Déšť" je slovo, avšak „déžď" není slovo, i když obojí jsou třídy podobných hluků. „Déšť přináší vláhu polím" je věta, avšak „déšť sníh slon" není věta, i když obojí je posloupností slov. Definovat „význam" a „signifikaci" není snadné, jak jsme viděli v úvahách o teorii jazyka. Není nutné se o to pokoušet, pokud se přísně omezíme na otázky struktury. Slovo nabývá významu pomocí vztahu k něčemu vnějšímu právě tak, jako člověk získává vlastnost býti strýcem. Žádný posmrtný objev jakkoliv dokonalý nezjistí, zda člověk byl strýcem či nebyl a žádná analýza množiny hluků (pokud je evyloučno vše to, co je vzhledem k ní něčím vnějším) neukáže, zda tato množina hluků má význam nebo signifikaci, když množina je nějakou posloupností toho, co se jeví jako slova.

Uvedený příklad ukazuje, že analýza struktury, ať je jakkoliv úplná, neřekne vám vše to, co můžete chtít vědět o objektu. Řekne nám pouze, které jsou části objektu a jaký je mezi nimi vzájemný vztah; neřekne nám nic o vztazích objektu k objektům, které nejsou jeho částmi nebo komponentami.

Analýza struktury se obvykle provádí v postupných etapách podobně jako v obou uvedených příkladech. To, co je bráno za neanalyzovanou jednotku v jedné etapě, je v další etapě považováno za složitou strukturu. Kostra se skládá z kostí, kosti z buněk, buňky z molekul, molekuly z atomů, atomy z elektronů, pozitronů a neutronů; další analýza je dosud předmětem dohadů. Kosti, molekuly, atomy a elektrony mohou být vzhledem k jistým cílům traktovány, jako kdyby to byly neanalyzovatelné jednotky, zbavené struktury, avšak na žádné etapě nejsou pozitivní důvody předpokládat, že je tomu tak ve skutečnosti. Poslední jednotky, kterých bylo dosaženo, se kdykoliv mohou ukázat jako něco, co je přístupné další analýze. Zda zde musí existovat jednotky, které jsou nepřístupné analýze proto, že nemají části, to je otázka, pro jejíž řešení, jak se zdá, nejsou žádné prostředky. Není to ani tak důležité, neboť není nic chybného v takovém podání struktury, které vychází z jednotek, o nichž se později ukáže, že jsou složité. Například body mohou být definovány jako třídy událostí, to však nikterak nevede k falzifikaci čehokoliv z tradiční geometrie, která považovala body za jednoduché. Každé pojetí struktury je relativní vzhledem k určitým jednotkám, které jsou pro danou situaci brány tak, jako kdyby byly zbaveny struktury, to však nikdy nemusí vést k předpokladu, že tyto jednotky v jiném kontextu nebudou mít strukturu, kterou je důležité studovat.

Existuje pojem „totožnosti struktury", který je velice důležitý vzhledem k velké řadě otázek. Dříve než podám přesnou definici tohoto pojmu, naznačím několik předběžných příkladů.

Počneme s lingvistickými příklady. Předpokládejme, že v nějaké dané větě zaměníte jedna slova jinými, avšak takovým způsobem, že věta bude mít význam; pak nová věta bude mít tutéž strukturu jako původní věta. Začnete dejme tomu s větou „Platón miloval Sókrata", slovo „Platón" nahradíte slovem

„Brutus“, slovo „miloval“ slovem „zabil“ a slovo „Sókrata“ slovem „Caesara“. Dostaneme větu „Brutus zabil Caesara“, která má tutéž strukturu jako věta „Platón miloval Sókrata“. Všechny věty, které mají tuto strukturu, nazýváme „větami binárního vztahu“. Podobně od věty „Sókrates je Řek“ mohli byste přejít k větě „Brutus je Říman“, aniž přitom změníte strukturu; věty, které mají tuto strukturu, nazýváme „subjekt-predikátové věty“. Takto lze věty klasifikovat podle jejich struktury; teoreticky vzato mohou mít věty nekonečný počet struktur.

Logika se zabývá větami, kterou jsou pravdivé na základě své struktury a které zůstávají vždy pravdivé, nahradíme-li jedna slova jinými, pokud tato substituce nezpůsobí, že přestanou mít význam. Vezměme si například větu „Jestliže všichni lidé jsou smrtelní a Sókrates je nějaký člověk, pak Sókrates je smrtelný.“ Zde můžeme slova „Sókrates“, „člověk“ a „smrtelný“ nahradit jinými slovy, aniž tím z měníme pravdivost věty. Je ovšem pravda, že v této větě jsou i jiná slova a sice „jestliže — pak“ (což je třeba pokládat za jediné slovo), „všichni“, „jsou“, „a“, „je“ a „nějaký“. Tato slova nelze měnit. To však jsou „logická slova“ a jejich účelem je vyznačit strukturu; jsou-li změněna tato slova, mění se i struktura. (To vše vede k některým problémům, ale vzhledem k našim cílům není třeba se do nich pouštět.) Věta patří do logiky, můžeme-li si být jisti, že je pravdivá (nebo že je nepravdivá), aniž jsme znali významy jednotlivých slov s výjimkou těch, která vyznačují strukturu. To je také důvodem pro užívání proměnných. Místo uvedené věty o Sókratovi, lidech a smrtelném řekneme: „Jestliže všechna α jsou β a x je α, pak x je β.“ Ať x, α a β znamenají cokoliv, je tato věta pravdivá; je pravdivá na základě své struktury. Zpravidla používáme k objasnění této skutečnosti znaků, tj. například „x“, „α“ a „β“ místo běžných slov.

Jako další příklad si vezmeme vztah nějaké oblasti k mapě této oblasti. Je-li oblast tak malá, že lze zanedbat zakřivení Země, je princip jednoduchý: východ a západ jsou reprezentovány pravou a levou stranou, sever a jih tím, co je nahoře a dole, a všechny vzdálenosti jsou zmenšeny ve stejném měřítku. Plyne z toho, že z jakékoliv věty o mapě můžete usuzovat o oblasti a vice versa.

Existují-li dvě města A a B a mapa je v měřítku jeden palec k jedné míli,[1] pak ze skutečnosti, že znak „A“ je vzdálen od znaku „B“ deset palců, můžete usuzovat, že A je vzdáleno od B deset mil a naopak; podobně podle směru úsečky ze znaku „A“ do znaku „B“ můžete usuzovat na čáry z A do B. Tyto úsudky jsou možné proto, že je zde totožnost struktury mezi mapou a oblastí.

Nyní si všimněme poněkud složitějšího příkladu: vztahu gramofonové desky k hudbě, která je na desce nahrána. Je zřejmé, že deska by nemohla reprodukovat tuto hudbu, kdyby zde nebyla mezi deskou a hudbou jistá totožnost struktury, která může vzniknout přenosem zvukových vztahů do prostorových vztahů nebo naopak; například skutečnost, že to, co je blíže ke středu desky, odpovídá tomu, co je v hudbě později v čase. Pouze na základě totožnosti struktury je deska s to být příčinou hudby. Velice podobné úvahy se týkají telefonu, rozhlasu atd.

Takové příklady můžeme zobecnit a říci, že máme co činit se vztahy našich smyslových zkušeností k vnějšímu světu. Rozhlasové zařízení přeměňuje elektromagnetické vlny na zvukové vlny; lidský organismus přeměňuje zvukové vlny na sluchové počitky. Elektromagnetické vlny a zvukové vlny mají určitou podobnost struktury, a tak (jak můžeme předpokládat) máme zvukové vlny a zvukové počitky. Všude tam, kde jedna složitá struktura je příčinou jiné, musí v mnohém existovat táž struktura v příčině a účinku jako v případě s gramofonovou deskou a hudbou. To je přijatelné, akceptujeme-li zásadu: „tytéž příčiny — tytéž účinky“ a její důsledek: „různé příčiny — různé účinky“. Považujeme-li tento princip za platný, můžeme na základě složitých počitků nebo posloupnosti počitků usuzovat na jejich fyzikální příčiny, avšak na nic víc, s výjimkou toho, že musí být zachovány vztahy sousedství, tj. že sousedící příčiny mají sousedící účinky. Je potřebí vyložit tento argument ještě mnohem důkladněji; zde se však o něm pouze předběžně zmiňuji, abych ukázal jedno z důležitých užití pojmu struktury.

Nyní můžeme přejít k formální definici „struktury“. Je třeba

[1] Vyjádření měřítka mapy pochopitelně odpovídá anglickým zvyklostem.

poznamenat, že struktura vždy předpokládá vztahy: prázdná třída jako taková nemá strukturu. Z prvků dané třídy lze vytvořit více struktur podobně, jako z nějaké dané hromady cihel lze postavit mnoho různých druhů domů. Každý vztah má to, co se nazývá „pole", které se skládá ze všech prvků, které mají k věcem vztah nebo k nimž se něco vztahuje. Tak například pole „rodičů" je třída rodičů a dětí, pole „manžela" je třída manželů a manželek. Takové vztahy mají dva prvky; nazýváme je „binární" (dvoučlenné). Existují také vztahy tří prvků, jako například žárlivost a „mezi", které nazýváme „ternární" (tříčlenné). Říkám-li „A koupil B od C za D liber", užívám kvarternárního (čtyřčlenného) vztahu. Říkám-li „A přemýšlí o lásce B k C více než o nenávisti D vůči E", užívám kvintárního (pětičlenného) vztahu. Tato posloupnost druhů vztahů nemá žádné teoretické meze.

Zabývejme se nejdříve binárními vztahy. Řekněme, že třída α uspořádaná vztahem R má tutéž strukturu jako třída β uspořádaná vztahem S tehdy, jestliže každému prvku α odpovídá nějaký jediný prvek β a naopak, a jestliže, mají-li dva prvky α vztah R, pak odpovídající prvky β mají vztah S a naopak. To můžeme ilustrovat podobností mluvené a psané věty. Zde třída mluvených slov ve větě je α, třída napsaných slov je β; jestliže pak jedno mluvené slovo je dříve než jiné mluvené slovo, pak psané slovo, které odpovídá prvnímu, je nalevo od toho psaného slova, které odpovídá druhému (v hebrejštině je to napravo). Je důsledkem této totožnosti struktury, že mluvené a psané věty je možno navzájem přeložit. Proces učení číst a psát je procesem učení se tomu, které mluvené slovo odpovídá psanému slovu a naopak.

Strukturu můžeme definovat pomocí několika vztahů. Vezměme si například úryvek hudby. Jedna nota může být dříve nebo později než druhá nota nebo mohou být současně. Jedna nota může být silnější než druhá nebo tónově vyšší nebo se může lišit dobou či špatnou harmonií od druhé. Všechny vztahy tohoto druhu, které jsou hudebně relevantní, musí mít své analogie v gramofonové desce, má-li tato deska poskytnout dobrou reprodukci. Říkáme-li, že deska musí mít tutéž strukturu jako hudba, nemyslíme tím pouze vztah R mezi notami v hudbě a jeden odpovídající vztah S mezi odpovídajícími znaky na desce, ale máme na mysli větší počet takových vztahů jako je R a nějaký počet odpovídajících vztahů takových jako je S. Některé mapy užívají různých barev pro různé výšky; v tomto případě různé pozice na mapě odpovídají různým šířkám a délkám, zatímco různé barvy odpovídají různým výškám nad úrovní moře. Totožnost struktury v takových mapách je větší než v jiných mapách; proto také jsou s to poskytnout více informace.

Definice totožnosti struktury je přesně táž pro vztahy vyššího řádu jako pro binární vztahy. Jsou-li například dány binární vztahy R a S a jsou-li dány dvě třídy α a β, z nichž α je obsažena v poli R, zatím co β je obsažena v poli S, řekneme, že α uspořádané pomocí R má tutéž strukturu jako β uspořádané pomocí S, jestliže existuje nějaký způsob korespondence prvků třídy α a třídy β a naopak tak, že jestliže a_1, a_2, a_3, odpovídají b_1, b_2, b_3 a jestliže R spojuje a_1, a_2, a_3 (v tomto pořádku), pak S spojuje b_1, b_2, b_3 (v tomto pořádku) a naopak. Také zde může být opět více vztahů takových, jako je R a více takových vztahů, jako je S; v tomto případě je zde totožnost struktury ve více ohledech.

Jestliže dva komplexy mají tutéž strukturu, pak každému tvrzení o jednom z nich, pokud toto tvrzení závisí na jeho struktuře, odpovídá tvrzení o druhém z nich, které je pravdivé, jestliže první tvrzení bylo pravdivé, a nepravdivé, jestliže první bylo nepravdivé. Odtud vyvstává možnost slovníku, pomocí něhož je možno tvrzení o jednom komplexu přeložit do tvrzení o druhém komplexu. Nebo také místo slovníku můžeme pokračovat v užívání těchže slov, avšak přiřadit jim různé smysly podle toho, ke kterému komplexu se vztahují. K něčemu podobnému dochází při interpretaci Písma svatého nebo zákonů fyziky. „Dni" v biblickém podání o stvoření světa jsou interpretovány jako „věky" a takto je Genesis uváděna do souladu s geologií. Ve fyzice, předpokládáme-li, že naše vědění o fyzikálním světě se týká pouze struktury vyplývající z empiricky známého vztahu „sousedství" v topologickém smyslu, disponujeme ohromnou šířkou při interpretaci našich symbolů. Každá interpretace, která zachovává rovnice a souvislost s naší smyslovou zkušeností, má stejné nároky

na to, aby bylo považováno za možné, že je pravdivá, a může být fyzikem využívána se stejnými právy k tomu, aby sloužila jako oděv holé kostře jeho matematiky.

Vezměme si například otázku: vlny versus částice. Až donedávna jsme se domnívali, že je to podstatná otázka: světlo se musí skládat buď z vln nebo z malých balíčků zvaných fotony. Bylo pokládáno za nepochybné, že hmota se skládá z částic. Posléze se však zjistilo, že rovnice zůstaly tytéž, jestliže jak hmota, tak světlo se skládají z částic nebo jestliže se skládají z vln. A nejen rovnice byly tytéž, ale také všechny verifikovatelné důsledky byly tytéž. Každá z obou hypotéz je tedy stejně legitimní a žádné z nich nelze dávat vyšší nároky na pravdivost. Důvodem k tomu je to, že fyzikální svět má tutéž strukturu a týž vztah ke zkušenosti, ať již bereme jednu nebo druhou hypotézu.

Úvahy odvozené z důležitosti struktury ukazují, že naše vědění, zvláště ve fyzice, je daleko abstraktnější a mnohem více nakažené logikou než by se mohlo zdát. Je zde však velice určitá hranice při procesu převádění fyziky na logiku a matematiku; je dána tou skutečností, že fyzika je empirická věda, jejíž věrohodnost závisí na vztazích k našim smyslovým zkušenostem.