

O RELATIVITĚ A KRÁSNU

Arthur Zajonc

Zdá se, že lidská mysl musí nejprve nezávisle vytvářet představy o povaze věcí, než bude schopná odhalit povahu věcí v nich samých.

— Albert Einstein

Na rozdíl od Plancka nebo Bohra nezačal Albert Einstein svá zkoumání světla s plamenem svíčky nebo polární září ani s jiným jevem okolního světa, ale s Gedan/cen-experimentem — pokusem, který mohl provést čistě ve své mysli. Einstein podnikl mnoho takových experimentů; důvěřoval svému vnitřnímu smyslu pro pravdu, která se v nich ukrývala. Na rozdíl od mnoha skeptiků měl odvahu věřit, že „čistá myšlenka může realitu pochopit, jak o tom snili lidé ve starověku“. Ve svém prvním myšlenkovém experimentu se Einstein pustil do křížku se světlem. Když je světlo tak obtížně polapitelné v laboratorních pokusech, možná bude mít čistá myšlenka v pochopení jeho skutečné podstaty větší štěstí.

Sám Einstein vypráví, že někdy na začátku roku 1896 ho jako šestnáctiletého mladíka napadla nemožná myšlenka. Kdyby jel člověk na kole za světelnou vlnou rychlostí rovnou rychlosti světla, pak by se světelná vlna měla zastavit. Když cestujete s přítelem, nepozorujete rychlost letadla, které vás oba nese. Stejně tak, když poběžíte se světlem, bude se vám zdát, že se zastavilo. „Jenže“, dodal Einstein, „něco takového nejspíš neexistuje!“ Narazil na nádherný paradox, o kterém si mohl přemýšlet, ale jehož řešení neviděl. Člověk si umí představit, že běží jakoukoliv rychlostí a že může doprovázet jakýkoliv pohybující se objekt. Ale světlo bylo jiné; jeho cesta vypadala tak nějak zvláštně. Stojící světlo? Taková věc byla nemožná! Avšak z přemýšlení o nemožném se zrodila revoluce.

Paradox běhu se světlem nešel Einsteinovi z mysli. V průběhu svých studií se k němu pořád v duchu vracel a toužil proniknout do tajemství světla, a tím do povahy předpokládaného éteru, který světlo nesl. Zaobíral se paradoxem téměř deset let, marně navrhoval svým učitelům pokusy, jimiž by bylo možné přijít mu na kloub. Během těch let vědecky dospěl a jeho otázka o povaze světla byla dráždivým jádrem, podobně jako zrnko písku v ústíci, kolem něhož vyrostla perla relativity. Nakonec v roce 1905, v roce jeho úžasných výkonů, mu světelná bytost alespoň částečně odhalila svou podobu. Neustálé promýšlení ho přivedlo k vytvoření nové představy, která byla schopna odpovědět na otázku z mladistvých let. Ta představa vešla ve známost jako speciální teorie relativity. Spolu s odpovědí přišlo bezpočet předpovědí, z nichž mnohé Einsteinovy posluchače vyděsily a stále zneklidňují i nás.

Plaňek váhal přijít s myšlenkou, že by světlo mohlo existovat v kvantech, později nazvaných fotony. Einsteinovo myšlení bylo na rozdíl od jeho pruského kolegy odvážnější. Necítil se být svazován ani tradičními rodinnými hodnotami, ani obvyklými způsoby myšlení klasické fyziky. Když uznávaný francouzský matematik Henri Poincaré psal v roce 1911 pro Einsteina doporučující dopis, zdůraznil jeho zázračnou otevřenost novým myšlenkám a mimořádnou schopnost vidět všechny jejich důsledky. „Člověk může především obdivovat jeho schopnost přizpůsobovat se novým myšlenkám a vyvozovat z nich všechny důsledky... není připoután k principům klasické fyziky.“ A opravdu, jak jsme viděli, Einstein byl jedním z prvních vědců, kteří vzali Planckovu práci vážně a rychle se pustili do rozpracovávání jejích důsledků. Ostatní vědci koncem devatenáctého století tápavě směřovali k novému pohledu na světlo, prostor a čas, ale určité ohledy na klasické pojetí fyziky je drželo zpátky. Nedokázali se oprostit od mechanického obrazu světla ani od představy absolutního prostoru a absolutního času. Farada- yova ontologie síly byla „zpevněna“ tím, že se vtělila do teorie éteru. V průběhu devatenáctého století chápala věda světlo jako vibrace univerzálního hmotného éteru. I když byl tento názor nesprávný, překvapivě přetrvával. Einstein rychle pochopil, v čem je problém, a napsal: „Začlenění vlnové optiky do mechanického obrazu světa muselo vést k vážným pochybnostem.“ Pochybnost musel na konci devatenáctého století vzbuzovat například Lorentzův důkaz, že nepružnost éteru by musela být nejen vysoká, ale *nekonečná*, aby mohla podporovat vibrace světla. Jak poznamenal Einstein: „Ty zákony [Maxwellovy] byly jasné a jednoduché, jejich mechanické výklady však neohrabané a vzájemně si odporující.“

Takové úvahy vedly fyziky na kontinentě k odhmotnění éteru, k odebrání jeho nezbytných fyzikálních atributů. Důležité kroky podnikal uznávaný mistr té doby, Lorentz. Vyřadil všechny mechanické charakteristiky éteru kromě jedné. Zmizela jeho hmota a pružnost, ale éter stále představoval absolutní referenční rámec pohledu na světlo. Byl nehybný.

Veškerý pohyb se měl měřit ve vztahu k němu. Z tohoto úhlu pohledu měl člověk „pohled Božího oka“, v němž bylo možno vidět věci takové, jaké opravdu jsou. Einstein v pouhých dvaceti šesti letech zpochybnil dokonce i tuto představu. Pracoval s vnitřními myšlenkovými představami, teoreticky, a vytvářel nové způsoby myšlení o tak zavedených pojmech jako světlo, éter, prostor, čas a kauzalita. Když byly jeho vnitřní představy dokonalé, mohly být porovnávány s vnějšími jevy, aby se ukázalo, zda snesou přísné požadavky experimentu.

Dovnitř Einsteinovy teorie relativity bychom se mohli dostat sledováním mnoha bohatých geologických žil, ale žádná z nich nezáří tak jasně jako světlo. Když ji budeme sledovat, zcela přirozeně nás zaujmou její dva převratné rysy: naprosté opuštění hypotetického éteru a mimořádný význam rychlosti světla. Odrážejí dva postuláty, jak je nazýval Einstein, na nichž byla založena speciální teorie relativity.

RELATIVITA A FARADAYŮV ARCHETYP

Po zbytek svého života budu přemýšlet o tom, co je to světlo!
— Albert Einstein, kolem roku 1917

Albert Einstein v úvodním odstavci svého slavného článku z roku 1905 zcela překonal názory britských fyziků a šel dokonce ještě dále než jeho kontinentální kolegové. Napsal: „Ukážu, že pojem ‚světlovodivého éteru‘ je zbytečný...“ Nejenže tvrdil, že fyzikové před ním neměli s hmotným éterem pravdu, ale jako zbytečnou odmítl dokonce i představu téměř nehmotného éteru holandského fyzika Lorentze. V tomto pozoruhodném článku se Einsteinovi podařilo navrhnout fyzice soustavu, v níž chybí jedinečné, specifické měřítko pohybu. *Veškerý pohyb musí být zkoumán pouze s ohledem na jiné objekty; žádná soustava neměla výsadu odlišovat se absolutní netečností vůči soustavám ostatním.* Kromě toho, *uvnitř každé soustavy bylo možné bez problémů uplatňovat všechny fyzikální zákony.* To byl Einsteinův první postulat, který nazval „principem relativity“. Kdo byl doma v jedné soustavě, mohl všechno vysvětlovat zákony, které bezezbytku platily v jakékoli jiné inerciální soustavě. Vypadalo to jako nevinná myšlenka — vedla nicméně k radikálním změnám v chápání světa, včetně názorů na éter. Protože všechny soustavy si byly naprosto rovnocenné, nebylo potřeba jedné absolutně platné soustavy, jakou pojem éteru představoval. K objasnění základního principu relativity se Einstein obrátil k tak archetypálnímu jevu, jakým je elektromagnetická indukce, objevená pilným experimentátorem Michaellem Faradayem. Právě při tomto pokusu Faraday připadl na myšlenku možné souvislosti mezi světlem a elektrickými poruchami, což už bylo samo o sobě revoluční myšlenkou. Nyní se jí chopil Einstein, využil ji podruhé a ke stejné významnému závěru. Připomeňme si, že když se magnet určitým způsobem přiblíží k cívice z drátů, proud v cívice se zvýší. Ale, zeptal se Einstein, co se při takovém pokusu „*doopravdy*“ pohybuje — magnet, nebo cívka? Abychom si situaci lépe objasnili, provedeme myšlenkový experiment. Představte si vesmírnou stanici, která vypadá jako cukrářský věneček a letí kdesi ve vesmíru. Její kovový plášť je dobrým vodičem elektřiny. Ke stanici míří vesmírná loď, úplně obyčejná, až na to, že má tvar obrovského válcovitého magnetu. Jeden konec lodi je severním a druhý jižním magnetickým pólem. Magnetická vesmírná loď se přibližuje ke stanici a pak velkou rychlostí prolétne prostorem uvnitř stanice. Na stanici zaznamenají velký náraz elektrického proudu na jejím kovovém plášti. Proč? Podle Faradayova zákona vznikl náraz díky *elektrickému poli* indukovanému kolem kruhové stanice pohybujícím se magnetem. Vědci na vesmírné stanici provedou výpočty — a ano, pokus odpovídá teorii. Teď se na to ale podívejte z hlediska těch, kteří jsou na palubě vesmírné lodi. Jak prolétá stanicí, také oni správně předpovědí vznik zcela stejného elektrického nárazu na plášti stanice, jenže jejich vysvětlení zdroje nárazu se naprosto liší od vysvětlení vědců ze stanice. Podle vědců na lodi vznikl proud vlivem pohybu elektrických nábojů (elektronů) na plášti stanice, který však nevyvolalo nějaké elektrické pole (jak si myslí ti na stanici), ale pouze magnetické síly. Kdo má pravdu? Vznikl proud působením elektrických, nebo magnetických sil?

Je jasné, že neexistuje způsob, jak to rozhodnout. A nám to pro praktické účely nevádí, protože v obou případech vznikne proud. Jenže je obrovský rozdíl v tom, co podle nás vznik proudu způsobuje. Maxwellova elektromagnetická teorie na jedné straně připisuje proud působení *magnetického pole*, zatímco v druhém případě vzniká proud působením *pole elektrického*. Takže fyzik sedící ve vesmírné stanici (která hraje roli cívky ve Faradayově indukčním pokusu v kapitole 6) vysvětlí proud jedním způsobem (nazve ho účinkem indukovaného elektrického pole), zatímco jiný fyzik, letící na vesmírné lodi, podá naprosto rozdílné vysvětlení (a řekne, že proud vznikl díky pohybu elektrických nábojů v magnetickém poli). Oba fyzikové budou používat stejnou teorii elektromagnetismu, avšak jejich vysvětlení budou naprosto rozdílná. Jak je to možné?

Faradayův pokus s magnetem a cívkou nám poskytuje krásný a opravdu archetypální příklad relativity. To, co pro jednoho pozorovatele vzniklo působením elektrických polí, pro druhého, jehož pohyb má vztah k pohybu prvního, je důsledkem působení magnetických polí nebo kombinací polí magnetických a elektrických. V Einsteinových rukou se Faradayův jednoduchý pokus stal základem pro další revoluci v našem chápání světa a kauzality. Za prvé, použije ho k odstranění absolutního pohybu a s ním také éteru. Za druhé, přinutí nás, abychom se dívali na elektrická a magnetická pole jako na relativistické kvantity, které spolu souvisejí. Ty nejsou „někde tam venku“ jako nějaký náhradní éter, ale přeměňují se jedna ve druhou podle Einsteinových rovnic. Výsledky se budou proto lišit pro fyzikální účinky, jakými je například výroba proudu, ale dobrá teorie (jako Maxwellova) může být úspěšně bez rozdílu použita ve všech případech. Už jen tato univerzální použitelnost činí éter nadbytečným. Éter vždy poskytoval absolutní referenční rámec, vůči kterému se měl posuzovat jakýkoliv pohyb a měla být uplatňována ta „správná“ teorie. Teď už člověk nemusel rozhodovat, co se „doopravdy“ pohybuje, zda magnet, nebo cívka; prostě na tom nezáleží, pokud je člověk ochotný vzdát se dosažení *jednoho* pravdivého vysvětlení fyzikálních jevů. Každý pozorovatel může podat své vlastní, obyčejné, naprosto konzistentní vysvětlení, proč se věci dějí. Avšak každé vysvětlení „příčin“ nějaké události (například vzniku proudu v cívce) nebo dokonce průběh, načasování událostí bude teď záviset na stavech jejich vzájemného pohybu. Není zde žádné „hledisko Božího oka“. Když tuto myšlenku přijmete — a jde o velkou změnu v myšlení —, všechny upřednostňované soustavy zmizí, včetně té, kterou nabízeli éter. Éter, ten houževnatý produkt materialistické představivosti, konečně zmizel! Jenže pozor! Einstein možná nepotřeboval éter pro vysvětlení elektrických a magnetických účinků, ale co je pak světlo? Všechny vlnové teorie éter předpokládaly. Maxwell a jeho následovníci chápali světlo jako elektromagnetické vibrace ve světlo- divém éteru, šířícím se podle jeho čtyř rovnic, jestliže světlo je vlnou, ale není tu žádný éter, co se pak vlní? Zkuste si představit zvuk bez pohybu vzduchu. Ale to byla přesně cesta, kterou Einstein světlu nabízel. Einsteinova myšlenka byla velmi brzy podpořena experimenty. Důsledky našeho vědeckého chápání světa jsou mimořádně závažné. Světlo má být elektromagnetickou vlnou, avšak bez hmotného prostředí, který by umožňoval jeho pohyb. Dalo by se říci, že světlu vzali poslední stopu hmotnosti, jeho fyzické tělo.

Když zmizel éter, co zůstalo? Možná, že samotná elektrická a magnetická pole jsou reálná, přestože éter reálný není. Ne, Faradayův archetypální experiment a princip relativity jasně dokazuje, že není správné uvažovat o elektrickém a magnetickém poli v určitém čase a místě jako o něčem, co má jednu skutečnou hodnotu. Pozorovatelé, kteří jsou vůči sobě v pohybu, naměří ve stejném bodě pro tato pole velmi rozdílné hodnoty. Faradayova představa pole nás ke světlu přibližuje, ale pokud ji používáme, nemůžeme vynechat sebe samotné. Naše vysvětlení bude odrážet naši představu, že my stojíme a svět se pohybuje kolem nás. Podle Ptolemaiovy představy byla středobodem vesmíru Země, Koperník si vybral Slunce. Jejich vysvětlení pohybu nebeských těles byla u obou stejně přesná, ale *velmi* rozdílná. Podobně i my jsme do každého měření zapleteni. Fyzikové musí vždy určit, jakou soustavu pro své výpočty předpokládají. V zásadě je jedno, jakou soustavu si vyberou (ačkoliv v praxi se s jednou soustavou obvykle pracuje lépe než s druhou), avšak „příběh“, který budou vyprávět, bude výběrem soustavy ovlivněn. Když člověk na tuto lekci relativity zapomene, vystavuje se nebezpečí, že sklouzne do naivního realismu, který si vybere jedno hledisko a pokládá ho za univerzálně pravdivé.

Máme také možnost obrátit se ke kvantové teorii a doufat, že nás utěší. Když jsou teď světelné vlny problematické, můžeme se vrátit k částicím. Jenže zatímco kvantová teorie částicovou povahu světla nevylučuje, fotony zůstávají nehmotné a navíc mají řadu neobvyklých vlastností. Ještě hlouběji zatahují pozorovatele do Heisenbergových neurčitých vztahů. Ne, kvantová teorie může učinit světlo ještě záhadnějším, ale k objasnění této záhady nepřispěje. Světlo není hmotné, alespoň ne tak jako masivní částice á la Newton, a už vůbec ne jako vlnění hmotným prostředím á la Euler nebo Maxwell. Když uvažujeme o vesmíru jako o hmotě nebo pohybu hmoty, světlo je výjimkou, které takovou falešnou představu nepřipouští.

Povahu světla nelze redukovat na hmotu nebo její pohyb; světlo se svou povahou vymyká všemu ostatnímu.

Na chvíli se zastavme a ještě jednou si připomeňme historii světla, do něhož teď zahrneme Einsteinovo dílo, poslední část této naší historie. Světlo, nejprve prožívané jako zrak Boha, bylo spirituální realitou, věčnou a všudypřítomnou. Od časů starých Řeků až k Newtonově době se světlo stávalo nejprve prostorovým a pak materiálním. S Faradayem a Maxwellem přišla éra elektromagnetického světla, ale světlo si s sebou pořád neslo parádičku z dob minulých, hmotné prostředí — éter. Až na Faradaye si vědci prostě nedokázali představit světlo — tu reálnou věc — jako něco nehmotného. Nedovolovalo jim to jejich myšlení; hmota byla synonymem pro realitu. Teprve v roce 1905 nabídl Einstein jinou možnost. Cena byla vysoká: ta možnost nepřipisovala žádnou důležitost pohybu, tvrdila, že éter je zbytečný, nepřinášela žádné

všeobecně platné, obvyklé vysvětlení fyzických jevů a předvídala spoustu doprovodných účinků, například kontrakci délek a dilataci času. Ale za všechny tyto ztráty toho Einstein na oplátku nabídl mnohem více. Místo mnoha obvyklých vysvětlení poskytl fyzikům prostředek, kterým bylo možné převádět jedno vysvětlení na druhé, prostředek zdokonalený tím, co nazýváme Lorentzovy transformace. Později také poskytl základ, který umožňoval nazírat hluboké souvislosti mezi hmotou a energií ($E=mc^2$). Ačkoliv světlo není hmotné, může být chápáno jako forma energie, jejíž chování v tomto světě lze znázornit v Maxwellových rovnicích elektromagnetického pole. Logika zůstala, jednoduchá či subtilní hmota nikoliv.

Koperník vyhnal lidské vědomí z jeho pradávných úkrytů ke Slunci. Země přestala být nehybným bodem, kolem kterého se pohyboval kosmos; sama Země se pohybovala kolem Slunce a byla jen bezvýznamnou hvězdou v galaxii, která zase byla jen jednou z nesčetných dalších galaxií. Neexistoval žádný střed a ohnisko Božího stvoření: všechna místa byla stvořena jako stejně významná. Einstein šel ještě dále. Teď tu dokonce nebylo žádné klidné místo, všechno všude bylo bez výjimky v pohybu. S Koperníkem bylo relativizováno místo, s Einsteinem pohyb. Oba lidské vědomí osvobodili, i když mnozí lidé toužili po bezpečí dřívějších názorů. Tradiční, vnější opory vědy, náboženství a společnosti byly jedna po druhé odstraňovány. Lidstvo teď zůstalo osamělé a odcizené v nekonečném vesmíru. Bez rodičů a daleko od domova se nyní každý z nás stal sám sobě středem, hledal duchovní sílu pro osamělou existenci v prázdnotě a oporu nacházel v sobě, nikoliv ve vnějším světě.

Uprostřed tohoto mimořádného přílivu nových myšlenek, ztráty abso lutního prostoru, času a éteru tu zůstávala jediná konstanta mimořádného významu, jedna „pravda“ nezávislá na všech soustavách — rychlost světla! Kolem ní vířily všechny ostatní rychlosti, místa a časy, ale světlo, jak napsal Einstein v roce 1905, „se vždy šířilo v prázdném prostoru s konečnou rychlostí c , nezávislou na stavu pohybu vysílajícího tělesa“. To byl Einsteinův druhý postulát a pilíř jeho teorie relativity.

RYCHLOST ZRAKU

Žádná fyzická látka nemůže být tak jemná a rychlá jako tato.

— Vilém z Conches, 12. století

Starověkým Řekům nezakrývala výhled na noční oblohu osvětlení měst a znečištění ovzduší. Ve městě i na poli patřily hvězdy k noční obloze a jejich krása a uspořádání byly odrazovým můstkem vědy. První měření rychlosti světla provedli pozorovatelé, kteří, stejně jako mnozí před nimi a mnozí po nich, obraceli v úžasu oči ke hvězdám.

Jestliže, jak si Empedoklés, Platón a mnozí další mysleli, prochází při aktu vidění cosi z oka k viděnému objektu, pak při pozorování vzdálených hvězd musí toto cosi urazit vzdálenosti, které jsou na hranici naší představivosti, a musí tak činit v jednom okamžiku. Vždyť když otevřeme oči, okamžitě před nimi vystává celý svět od obzoru k obzoru a k nejbližší hvězdě nebo planetě. Ať už cestuje cokoliv, musí to cestovat tou největší rychlostí. Míra, s níž tento argument implicitně počítal, nebyla vlastně mírou rychlosti světla, ale ve skutečnosti šlo o „rychlost vidění“. Zájem starověkých autorů o rychlost světla přetrval další dva tisíce let. John Peckham, nejznámější středověký optik, psal ve svém významném díle *Perspectiva Communis* pouze o rychlosti vidění, nikoliv o rychlosti světla. Avšak od Platónových dob se o rychlosti světla hovořilo, ať už implicitně nebo explicitně.

Aristotelés s Empedoklovými a Platónovými názory na vidění vůbec nesouhlasil. Podle něj ani z oka, ani z objektu nic nevycházelo. Světlo, jak jsme viděli, bylo stavem nebo kvalitou prostředí, a tak jako může v jednom okamžiku zamrznout voda, může se kdekoliv současně odehrát transformace „potenciálně transparentního“ do stavu skutečné transparentnosti, tedy do světla. Podle Aristotela bylo prostě nesprávné myslet si, že světlo se šíří. Jestli vám jeho názor dělá potíže, představte si studenta, zmateného (jako hodně lidí před ním) Aristotelovým tvrzením, že světlo se nešíří. Nazvete stav studentovy zmatené mysli temnotou. Jak učitel pokračuje v nadšeném vysvětlování této záhady, studentův obličej se na jednou „rozsvítí“. Student přešel ze stavu zmatenosti do stavu pochopení a stalo se to okamžitě. Když se „rozsvítí“ svět, je to podobné, a šíření světla není logicky nevyhnutelné. Světlo může být stejně tak dobře univerzální změnou stavu.

Obecný názor, že světlo cestuje nekonečnou rychlostí, dále rozvíjel například sv. Augustin: paprsek světla „očividně projde těmi velkými a nezměrnými prostorami okamžitě, v průběhu jednoho srdečního tepu“, napsal. Na jiném místě říká: „Náš zrakový paprsek nedorazí k blízkým objektům dříve a ke vzdáleným později, ale v obou případech cestuje stejnou rychlostí.“ Mějme na paměti, že Augustin těsně spojoval Boha a Krista se světlem. Že se Bůh bude objevovat na blízkých i vzdálených místech současně, dávalo zjevný teologický smysl.

Ve 12. století si Platónovy myšlenky našly cestu k mistrům v Chartres a ovlivňovaly jejich chápání světla a vidění. Podle Viléma z Conches je vizuální oheň plynoucí z očí jemný a rychlý: „Žádná materiální substance není tak jemná a rychlá jako tato. Proto je stále tady a stále tam [mezi hvězdami].“ Ale Vilém se domníval, že pohyb vizuálního ohně vyžaduje čas, protože podle jeho názoru je substancí materiální. Co je božské, může cestovat nekonečnou rychlostí a být na všech místech současně, ale co je hmotné, musí cestovat v čase prostorem. Zase jednou se proplétají du chovní a fyzikální úvahy.

Zatímco podle většiny učenců světlo cestovalo prostorem okamžitě, odpadlíci jako Vilém z Conches cítili, že ačkoliv by světlo mohlo cestovat velmi rychle, jeho cestování přece jenom určitý čas vyžaduje. Mezi první mi, kdo zastávali tento názor, byli Alhazen a Roger Bacon. V časech René Descartesa šlo o významný spor, ve kterém Descartes velmi silně trval na okamžitém šíření světla.

Vzpomeňme na *Plenium* Reného Descartesa a jeho model vidění, v němž je zrak vysvětlován analogií se slepým mužem a jeho holí. Jestliže je veškerý prostor naplněn nějakým materiálním prostředím, pak stejně jako u pevné hole slepého muže se ořes nebo pohyb na jednom konci hole okamžitě projeví jako ořes nebo pohyb na konci druhém. Descartes si byl touto myšlenkou tak jistý, že kvůli tomuto předpokladu byl ochoten dát v sázku celý svůj filosofický systém. V roce 1634 napsal neznámému příteli, že světlo „se dostává z osvětleného objektu do našich očí okamžitě; a já bych dokonce dodal, že pro mě je to tak zřejmé, že kdyby byl prokázán opak, byl bych připraven uznat, že nevím z filosofie absolutně nic.“ O čtyřicet jedna let později dokázal v Paříži dánský astronom Ole Romer, že se Descartes mýlí. Dokončení sylogismu ponechávám na čtenáři.

Díky pečlivým pozorováním Jupiterových měsíců a použití nových Cassiniových měření vzdáleností planet od Slunce byl Romer schopen dokázat, že světlo cestuje konečnou, i když mimořádně vysokou rychlostí. Už jsme viděli, jaký význam měla rychlost světla pro Maxwella, kterého přivedla k myšlence, že světlo je elektromagnetickou vlnou. Ještě větší význam měla pro speciální teorii relativity. Slovy francouzské fyzičky Marie- Antoinette Tonnelatové: „Druhý Einsteinův postulát od základů mění status rychlosti světla: co bylo kinematickou a v základě relativní entitou, to se nyní stalo jevem popsatelným jedním invariantním zákonem.“

V posledních třech stoletích uchvátil představivost velkých experimentátorů cíl stále přesnějšího změření této pozoruhodné kvantity, rychlosti světla. Americký fyzik Michelson věnoval posledních dvacet let svého života co nejpřesnějšímu měření rychlosti, jakou světlo cestuje. Vrcholem jeho úsilí byl pokus, v němž použil dvoumetrovou ocelovou trubici o průměru jednoho metru. V jejím prázdném prostoru, zapečetěném a vakuovaném, běhalo světlo sem a tam. O výsledcích pokusu — nové hodnotě rychlosti světla — se netrpělivě čekající Michelson dozvěděl na svém smrtelném loži 7. května 1931. Dva dny nato mohl spokojeně zemřít.

Od té doby byly vynalézány stále přesnější metody měření rychlosti světla. Ta nejnovější použila vysoce stabilizované lasery a speciální postupy pro měření ultravysokých optických frekvencí. Nakonec měření dosáhlo takové přesnosti, že jeho hlavní nepřesnost vznikala kvůli nepřesnosti světové jednotky délky: metru. V roce 1983 bylo proto rozhodnuto jednou provždy ukončit tři sta osmdesát let trvající historii měření rychlosti světla. Namísto definování jednotky délky, jak tomu bylo vždy předtím, byla definována rychlost světla! Její hodnotou se stala tehdy nejlépe naměřená hodnota 299792458 metrů za sekundu. Od roku 1983 už rychlost světla nebyla kvantitou, která by mohla být měřena, její definice byla vlastně čistou konvencí výše uvedené hodnoty.

Když se vědci vzdali definování metru pro určování rychlosti světla, museli se vrátit zpátky a přizpůsobit délkovou jednotku tak, aby byla v souladu s novým standardem. Proto je metr nyní definován jako vzdálenost, kterou světlo urazí ve vakuu za časový interval $1/299792458$ sekundy.

Tesařský metr je opravdu dlouhý právě tolik světelných sekund. Každé pravítko teď může vystopovat svůj původ v rychlosti světla. Šířící se světlo dává vzniknout prostoru, jak si to představoval Grosseteste. Pradávná otázka rychlosti světla byla zodpovězena. Odpověď je konečná a my jsme se rozhodli nazývat tuto konečnost 299792458 metrů za sekundu. Badatelé už nikdy nebudou znovu měřit její hodnotu. Co začalo jako nekonečná rychlost vidění, stalo se konečnou rychlostí světla. Avšak zatímco experimentátoři vyřešili jednu otázku, teorie relativity otevřela další, když se chopila velké, ale konečné rychlosti světla a nazvala ji rychlostí jedinečnou.

JEDINEČNĚ UNIVERZÁLNÍ RYCHLOST

V tom, co následuje, se dozvíme, že fyzikálně hraje v naší teorii rychlost světla roli nekonečně velké rychlosti. 268 — Albert Einstein, 1905

Hodte kamínek do klidné vody a sledujte, jak se šíří vlnky. Když se voda uklidní, hodte na hladinu žabku — pokaždé, když se obláček dotkne hladiny, vytvoří se na ní kolo vln šířících se ven z kruhu. Rychlost, kterou se kruhy šíří povodní hladině, je pokaždé naprosto stejná. Rychlost vodních vln nezávisí na rychlosti kamene, ať hozeného shora nebo vrženého ze strany, nýbrž je určována pouze vlastnostmi vody. Se zvukem je to podobné; pouze vzduch, nikoliv zdroj rychlosti, určuje rychlost zvuku. Všechny vlny se šíří rychlostí danou pouze prostředím, ve kterém se pohybují. Proto by se mohlo zdát, že když Einstein napsal svůj druhý postulát — „rychlost světla je nezávislá na rychlosti jeho zdroje“ — nefelcl nic nového. V roce 1905 si (skoro) každý myslel, že světlo je vlna, takže pro všechny byl druhý postulát samozřejmou pravdou. Jenže, jak jsme viděli, ve stejném článku Einstein zrušil éter; takže právě základ pro všeobecně přijatelné určení rychlosti světla zmizel! Do roku 1905 byly rychlosti vln nezávislé na zdroji rychlosti pouze proto, že byly zcela vázané na prostředí, v němž se pohybovaly (vodě, vzduchu, éteru atd.). Když světelná vlna *neměla žádné* prostředí, jak tedy mohlo světlo „vědět“, jak rychle cestovat? Einsteinova odpověď byla ohromující. On tu otázku naprosto ignoroval a jako postulát stanovil, že rychlost světla je nezávislá na jeho zdroji. Tečka. Když si tohle dáme dohromady s jeho prvním postulátem, principem relativity, důsledky jeho teorie pro naše chápání času a prostoru byly opravdu revoluční.

Zamyslete se znovu nad Einsteinovým prvním myšlenkovým experimentem — závodem se světlem. Z druhého a prvního postulátu vyplývá nejen to, že světelnou vlnu nikdy nemůžete dohonit, ale také že se k ní nikdy nemůžete ani přiblížit. Dejte příteli baterku, rozsviňte ji a změřte rychlost světla: 299792458 metrů za sekundu. Požádejte ho, aby pokračoval v měření, jenom abyste se ujistili, že se rychlost světla nemění. Teď vyběhněte. Cistě teoreticky předpokládejme, že ve vztahu k vašemu příteli s baterkou běžíte rychlostí blížící se 99 % světelné rychlosti. Protože přítel nezná relativitu, bude si myslet, že jste světelnou vlnu téměř dohonili. Zatímco běžíte, sami si změřte rychlost světla: 299792458 metrů za sekundu. Jak je to možné? Vy sami běžíte téměř světelnou rychlostí, a přitom jste změřili, že světlo cestuje stejnou rychlostí jako předtím. Usuzujete, že světlo z baterky teď, co jste ho téměř dohonili, musí „opravdu“ běžet dvakrát rychleji, než je světelná rychlost. Ale váš přítel s baterkou měří pořád stejné hodnoty jako vy. Co se to děje? Nic necestuje tak jako světlo. Všichni pozorovatelé naměří jeho rychlost ve vakuu 299792458 metrů za sekundu. Aby to bylo možné, musíme sice změnit naši koncepci prostoru a času, ale když to uděláme, všechno se krásně, i když podivně propojí. Je světlo opravdu takové? Možná že Einsteinova teorie je brilantní, ale nesprávná; nesprávnost teorií bývala prokazována už dříve. V Einsteinově době v podstatě neexistoval žádný způsob, jak její správnost podpořit, nebo ji vyvrátit. Od roku 1905 však byly provedeny mimořádně přesné pokusy, které ji potvrdily.

Dobře si pamatuji na experiment z roku 1977 provedený Alainem Brilletem a Janem Hallem ve Spojeném ústavu pro laboratorní astrofyziku v Boulderu v Coloradu, kde jsem pracoval i já. V nejlhubším sklepě laboratoře zavěsili pod strop granitovou desku, na níž byl umístěn jeden ze stabilizovaných laserů na bázi hélia a neonu, které vytvořil Jan Halí. Otáčeli pomalu granitovou deskou s laserem a hledali, stejně jako Michelson a Morley, „éterový vítr“, který vzniká, když si Země razí svou cestu hypotetickým éterem. Země se pohybuje kolem Slunce rychlostí asi třicet tisíc metrů za sekundu. Pokud by tedy existoval éter, člověk by mohl zachytit éterový vítr, vznikající díky rychlosti tohoto pohybu. V Brilletově a Hallově pokusu by se takový vítr projevil jako malý posun v oscilačních frekvencích laserového světla. Michelsonův a Morleyův pokus z roku 1887 nezjistil žádný éterový vítr s rychlostí nad 4700 metrů za sekundu. Kdyby byl éterový vítr pomalejší, jejich experiment by ho nezachytil. Ani Brillet a Halí nenašli žádný důkaz éteru a jejich horní limit pro éterový vítr byl patnáct metrů za sekundu, což je až dodneška nejlepší výsledek Michelsonova a Morleyova způsobu měření. Ostatní druhy měření snížily nejvyšší možnou hodnotu pro éterový vítr ještě výrazněji, až k 0,05 metrů za sekundu! Jak naznačoval první Einsteinův postulát, dosud nebyla nalezena žádná stopa po světlovodivém éteru.

K podobnému vývoji došlo při testování druhého postulátu, který říká, že rychlost světla je nezávislá na zdroji pohybu. Všechny druhy atomových světelných zdrojů byly experimentátory uvedeny do pohybu rychlostmi od velmi nízkých až k devadesáti dvěma procentům světelné rychlosti. Ve všech případech byla naměřená hodnota světelné rychlosti stejná. Odkázána sama na sebe (tj. bez éteru) je rychlost světla neměnná. Kdyby něco srovnatelného existovalo v pojmech prostoru, vyznačovalo by se to vlastností, že ať byste šli kamkoliv, bylo by to od vás vždy stejně daleko. Nemohli byste se k tomu ani přiblížit, ani se od toho

vzdálit; vzdálenost mezi vámi by byla daná. Takhle vypadá nekonečnost. Bez ohledu na to, jak blízko k ní či jak daleko od ní člověk cestuje, zůstává mu vždy *stejně* nekonečně vzdálená. Jak řekl Einstein, světelná rychlost hraje roli nekonečně velké rychlosti. Světlo nemá žádné místo, ale má rychlost a my jsme od něj vždy vzdáleni 299792458 metrů za sekundu.

Speciální relativita byla mnohokrát ověřována a všechny zkoušky vydržela. Einsteinův závod se světlem opravdu změnil naše chápání světla. Einstein měl odvalu položit si otázku, jak by světlo vypadalo, kdyby člověk vedle něj cestoval světelnou rychlostí. Důsledky odpovědi jsou ohromné. Stejně tak bychom mohli otázku obrátit a zeptat se, jak by vypadal samotný svět, kdyby závodil se světlem. Jak vypadá svět z perspektivy „oka světla“?

Jak ví každý školák, nic než světlo nemůže dosáhnout světelné rychlosti. Žádné hmotné objekty, ať je jejich hmota jakkoliv malá, nemohou dosáhnout této nejvyšší rychlosti. Člověk by se musel odhmotnit, aby běžel tak rychle jako světlo. Představte si, že jste světlo, jak si to představoval mladý Einstein. Nechte za sebou své fyzické tělo, najděte si útočiště v těle světelném a rozleťte se prostorem. Co byste viděli?

Od Einsteinových dob je obecně známo, že když se člověk přiblíží světelné rychlosti, čas a prostor se významně a překvapivě změň.272 Délky se zkracují ve směru pohybu a hodiny se zpomalují. V uplynulých letech se pečlivě zkoumalo, jak to změni vzhled věcí, ale nikdy jsem se nesetkal se seriózním pojednáním o tom, co by se stalo, kdyby nejvyšší rychlostí — rychlostí světla — cestoval člověk.

Víme s jistotou, že když se pohybujeme stále rychleji, hodiny, které mjíme, jdou pomaleji a pomaleji a tvary předmětů se deformují. Zdá se nám, že vzdálenosti, které jsme urazili, se zkracují — to je takzvaná kontrakce délky. Co se stane, když dosáhneme nemožného a staneme se světlem? Opravdu se čas zpomalí tak, že se nakonec úplně zastaví? V roce 1911 poznamenal Einstein k přírodním filosofům, že to, co pro nás jsou století, může být pro živý organismus „pouhý okamžik“, za předpokladu, že organismus cestuje téměř světelnou rychlostí. A co prostor? Zmizí vzdálenost úplně? Ve svém nejvýznamnějším článku z roku 1905 Einstein tvrdil: „Na základě rovnice $v = c$ se všechna pohybující se tělesa — z pohledu „klidové“ soustavy — zkrátí na ploché útvary.“ Všechno je teď a nyní, navždy! Běžíme-li se světlem, nevrátíme se obloukem zpátky ke světlu věčnému a všudypřítomnému, mimo prostor a čas? Nebo měl snad pravdu Aristotelés a světlo je univerzální a okamžitá změna stavu, alespoň z úhlu pohledu samotného světla? Když se budeme usilovně zabývat takovými hádankami, možná že jako Einstein objevíme ještě další obraz světla.

Einsteinova relativita, Planckovo světelné kvantum, Steinerovo andělské světlo a Delaunayovo umělecké světlo, všechny tyto fenomény se objevily současně. Připomeneme si C. S. Lewise a zeptáme se, jaké otázky rostly v srdcích lidí žijících mezi lety 1900 a 1925 a co nám říkají o skrytém tíhnutí jejich myslí. V průběhu uplynulých tří set let zmizely všechny vnější zdroje bezpečí. Hlavní instituce minulosti, ať už církevní či světské, byly zpochybněny nebo, zejména v průběhu války, zničeny. Jednoduchá víra už lidem nestačila, existenciální otázky si kladlo mnoho lidí a uspokojivé odpovědi se objevovaly jen zřídka.

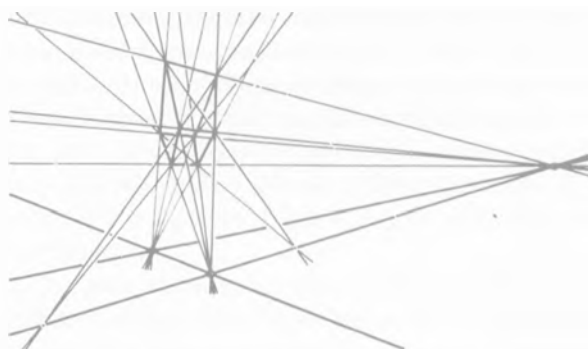
Teorie relativity může být z určitého pohledu chápána jako dovršení toho, co na úsvitu moderní vědy začal Koperník a Galileo. Když jsme opustili bezpečí náboženských a klasických tradic, opustili jsme mnohé, ale stále jsme s sebou měli svá těla (prostor) a tlukot srdce (čas). I když jsme zůstali sami, k nim jsme se mohli pevně přimknout. Ale ne, podle relativity byly dokonce i ony obětovány. Prostor a čas nejsou dány absolutně.

Vyvstává potřeba pružnější struktury a rytmu. A tak každá pevná materiální opora, a dokonce i abstraktní útěcha absolutního prostoru a času, musí být položena na oltář. Sledovali jsme pečlivě rodokmen světla až do dvacátého století a naše místo ve vesmíru se zdá být ještě bezvýznamnější než kdykoliv předtím. Všechny vnější sloupy klasické vědy byly zbořeny, i když to mnozí lidé popírají. Co nakonec zůstává? Jasně a pravdivě zní Emersonovo motto, napsané o desetiletí dříve: „Nakonec není posvátného nic, kromě integrity naší vlastní myslí.“

Církev a stát se až do moderní doby snažily ochránit lidského ducha před tak znepokojivým poznáním. Podobně jako nevinný mladík Parzifal jsme byli vychováni v idylické nevědomosti o existenci tak drsných představ o světě. Teprve poté, co Parzifal překvapili rytíři v zářící zbroji, které omylem pokládal za anděly, opustil Parzifal domov, oblečený jako blázen, aniž by se alespoň pohledem rozloučil se svou vyděšenou matkou, které jeho odchod přivodil smrt. Na Parzifala čekalo hodně životních lekcí. Rok za rokem poznával své chyby a pošetilosti, ale svých tužeb se nikdy nevzdal. Nakonec, v rozedraném šatě, úplně opuštěný v temné a nevlídné lesní divočině nasadil koni oště, s velikou pokorou našel zpátky cestu do hradu Svatého grálu a stal se jeho novým králem. Jako Parzifal, jako milované a božské dítě žilo světlo nejprve v kouzelné venkovské krajině. Pak si dítě obléklo zbroj teorie a vydalo se do světa, aby dobylo všechna tajemství světla. Rychlý úspěch přináší přílišnou sebedůvěru, avšak ne všechna tajemství před jeho kopím padla.

Světlo svíčky, polární záře a blesk, abychom jmenovali aspoň některá, odolávala. Stará zbroj byla odhozena a nahrazena jemnější, vyrobenou ze rtuťi namísto oceli. Bašty hradu Svatého grálu zmizely z povrchu hory Montsalvat a znovu se objevily jako nejpevnější kosti lidské lebky, pozemské svatyně mysli. Uvnitř tohoto nekonečného vnitřního prostoru vytvořil Einstein teorii oplývající hlubokou vnitřní konzistencí, která vyvolávala novou sebedůvěru. S jejími dvěma postuláty jako rameny kotvy vznikla brilantní myšlenková struktura, která byla v naprostém rozporu se zdravým rozumem, ale posílila naši odvahu a odhodlanost myslet. Zdálo se, že Einstein je vybaven jakýmsi vnitřním gyroskopem, který mu umožňoval orientaci v každé bouři. Myslím, že jeho rozvážnost byla jen odrazem jeho víry v Inteligenci. *Lebensphilosophie* neodmítla racionalitu, ale neživotné formy, které racionalita získala během konce devatenáctého století. Rád bych navrhl, abychom se na teorii relativity dívali jako na odraz evolučního pohybu lidské psýchy směrem ke skutečné autonomii. Nepružná geometrie minulé vědy odrážela omezenou strukturu jejího imaginativního základu. Naproti tomu dynamická imaginace moderní vědy osvobozuje, ale také ohrožuje. Stabilitu, kterou jsme kdysi našli v okolním světě, musíme teď najít uvnitř sebe samých. K jednomu z nejkrásnějších příkladů této proměny došlo v oblasti chápání geometrie, která se projevila celosvětově. Geometrie lidské zkušenosti neprošla tak radikální změnou od doby, kdy Brunelleschi vynalezl lineární perspektivu.

V desetiletích směřujících k teorii relativity docházelo právě v architektuře prostoru k revolučním změnám. Do té doby byla matematická představitost a s ní celé vědecké myšlení ovládáno jedinou knihou. S výjimkou Bible neformuloval žádný text myšlení Západu tak výrazně jako Eukleidovy *Základy*. Jen od vynálezu knihtisku se objevilo více než tisíc vydání. Avšak matematický rámec zastávaný v *Základech* poskytuje neodůvodněné privilegium jednomu názoru a zcela vylučuje byť jen myšlenku neeukleidovských geometrií. Kořeny pružnějšího přístupu ke geometrii sahají až k renesančním tvůrcům lineární perspektivy, ale vývoj prvních vhlédů do moderní disciplíny „projektivní geometrie“ musel počkat na práci velkých matematiků, jakými byli Poncelet (1788-1867), Cayley (1821-1895) a Klein (1849-1925). V Einsteinově době neeukleidovské geometrie a také srozumitelnější teorie projektivní geometrie rozbily Eukleidův omezující vliv na matematické a prostorové myšlení a mohla se zrodit nová imaginace prostoru.



Projektivní geometrická konstrukce

Abych ukázal něco ze specifických možností, které nová geometrie nabízela, představte si kruh a krychli v eukleidovské geometrii. Tyto tvary jsou jednou dané a neměnné. Zakřivení kruhu je naprosto stejné a určuje ho jeho zvláštní poloměr; stejně tak mají rohové úhly krychle vždy devadesát stupňů a všechny její strany jsou stejné. V projektivní geometrii tyto neměnné rysy mizí. Kruh a krychle mohou projít nekonečným počtem tvarových změn. Obrázek výše vysvětluje pouze jednu možnost; musíte si představit ohromné množství dalších, které tu nakreslené nejsou.

Krásný obrázek Olive Whicherové nám umožňuje vidět geometrické tvary jako krystalizaci zrozenou z ohně. Jako světelné signály proudí paprsky spořádaně prostorem; jejich průsečíky definují a délky obsahují známé geometrické obrazce. Navíc si tyto paprsky musíme představit v pohybu, s neustále proměnlivými obrazci, takže celá státnost kresby zmizí. Prostor tvarů není nikdy v klidu, neustále se mění, je to geometrie proudícího proměnlivého života a matematiku oživuje životní síla moderní imaginace. Teď, když jsme osvobozeni od eukleidovských omezení, musíme letět na pavučinkových křídlech geometrie, které vyrobily naše vlastní ruce. Čas od času budou obrysy kontinentů, nad nimiž letíme, vypadat ve světle této geometrie podivně, ale jak kdysi napsal Blake: „Žádný pták se nevznáší nadměru vysoko, vznáš-li se na vlastních křídlech.“

SVĚTLO A ARCHITEKTURA ČASOPROSTORU

Struktura je dárcem světla.
— Louis Kahn

Nová architektura prostoru předpokládá, že si ji architekti vymyslí a stavitelé postaví. Jako moderní gnostik věnoval architekt Louis Kahn neustálou pozornost světlu. Objevoval inspiraci tam, kde se ticho setkalo se světlem, v prostoru vytvořeném jejich jednotou. Tady byla Svatyně umění, Pokladnice stínů. Uvnitř této svatyně, napsal, „obětuje umělec své dílo svému umění“.

Ticho ke Světlu
Světlo k Tichu
Na prahu jejich protnutí
je Singularita
je Inspirace
(kde se touha po vyjádření střetává s možným)
je Svatyně umění
je Pokladnice stínů
(materiál vrhá stíny, stíny náleží světlu).

Ticho je líhň. V něm sídlí neustálá „nezměřitelná touha být“. Když se touha Ticha setká s touhou Světla, „s tím, co lze změřit, s dárcem celé přítomnosti“, vznikají světy.

....veškerý materiál v přírodě, hory a vodní toky a vzduch a my,
je vytvořen ze Světla, které bylo využito, a tato zvrásněná hmota nazývaná materiál vrhá stín a ten stín patří Světlu.

Takže světlo je opravdu zdrojem všeho bytí. A já si řekl, že když byl svět bahnem, naprosto beztvarym a nikam nesměřujícím, celé to bahno bylo prosáklé touhou po vyjádření, obrovskou ztuhlou Radostí, a touha byla dobrým začátkem k tomu, aby bylo umožněno vidění.“

Aby bylo umožněno vidění. Vně i uvnitř té původní ztuhlé Radosti zářilo Světlo, zdroj veškerého bytí. Když uchopilo samo sebe, vystavělo nejen hory, vodní toky a vzduch, ale také stvoření vybavená zrakem, které ho viděly. Jak napsal Richard Wilbur: „Bylo to slunce, které zrodilo tyto dvě modré jamky“, naše oči. Kahnova kosmogonie je kosmogonií světla, jehož je svět potomkem.

Architektura a nová geometrie časoprostoru se na sebe dívaly při úsvitu nového století, teď už obě intelektuálně osvobozené a duchovně inspirované. Jako obrazce vytřepané z učebnice projektivní geometrie rostly v krajně budovy ze skla, oceli a betonu. Organická architektura Gaudiho v Barceloně, Steinerova ve Švýcarsku, Le Corbusierova ve Francii zachytila v betonu dynamickou morfologii organických forem. „Sklenný dům“ Bruna Tauta umožňoval, aby skrz skleněné cihly světlo magicky pronikalo dokonce pevnými zdmi. Když obrátíme Kahnovu myšlenku, zdálo se, že světlo je dárcem prostoru. Když Einstein do své teorie relativity zahrnul fenomén gravitace, vzájemná hra světla a prostoru odkryla ještě jeden aspekt. Jeho obecná teorie měla svůj původ v tom, co Einstein nazval nejšťastnější myšlenkou svého života.

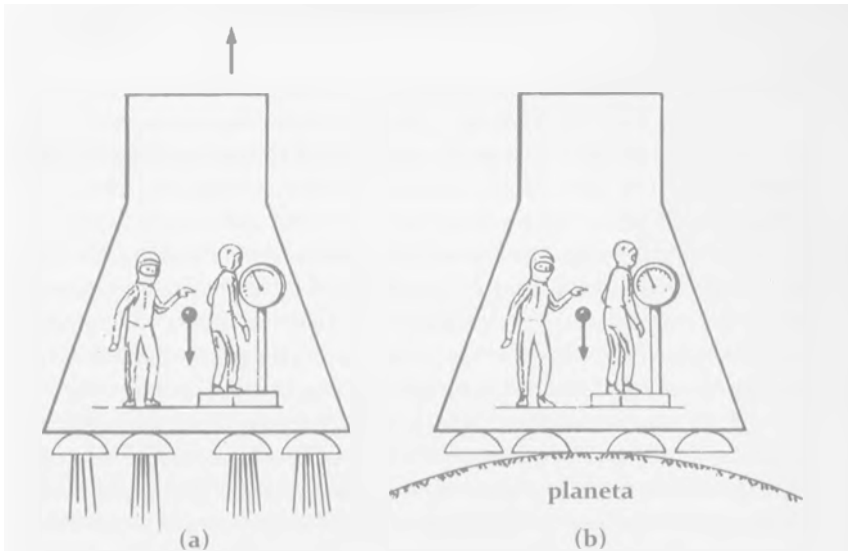
Když seděl Einstein v únoru 1907 za stolem v bernském patentovém úřadě, kde pracoval, připadl zničehonic na myšlenku, že „když člověk padá volným pádem, necítí svou vlastní váhu“. Jednoduchý poznatek, který ale obsahoval gravitační analogii Faradayova archetypálního pokusu s elektromagnetickou indukcí. Relativita elektrických a magnetických polí, vedoucích Einsteina ke speciální teorii, zde měla přesnou obdobu v gravitaci, která ho nakonec dovedla k obecné teorii relativity. Einsteinova „nejšťastnější myšlenka“ je od těch dob přijímána jako „princip ekvivalence“ teorie relativity. Říká, že gravitační přitažlivost je experimentálně neodlišitelná od rovnoměrně zrychleného pohybu. V podmínkách pokoje může být tlak na vaše nohy přičítán jak zrychlení směrem nahoru (jako ve výtahu nebo při startu vesmírné lodi), tak i gravitační přitažlivosti země.

Einstein dokázal využít principu ekvivalence k předpovědi, že dráha, kterou sleduje světlo, bude zahnutá, pokud bude světlo procházet v blízkosti obrovského tělesa, například Slunce. Právě tento jev úspěšně zachytila na fotografiích v roce 1919 anglická expedice Arthura Eddingtona na ostrově Principe u pobřeží Španělské Guiney. Výkyv byl nepatrný, ale v podstatě souhlasil s Einsteinovou předpovědí učiněnou před sedmi lety. Proč by se mělo nehmotné světlo při své cestě prázdným prostorem pod vlivem

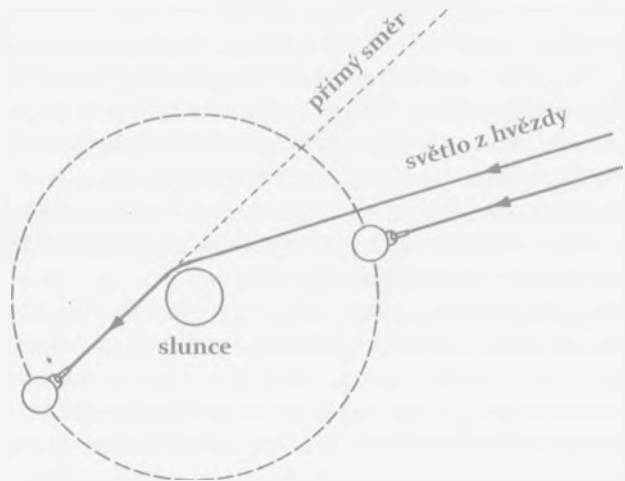
obrovského tělesa ohýbat? Kdyby světlo bylo hmotné, pak by to bylo v pořádku, ale ono hmotné není. Proč by se tedy mělo ohýbat? Einstein nabídl vysvětlení: protože světlo zjevně bude sledovat zakřivenou dráhu v pokoji se zrychleným pohybem, v ekvivalentní gravitační situaci se bude chovat stejně; co platí pro jednu situaci, musí platit i pro druhou. Proto bude docházet k ohybu světla vlivem planety, sluncí a všech hmotných objektů.

Už si nebudeme představovat, že se světlo řítí prostorem v přímkách; spíše kličkuje zakřivenou strukturou „časoprostoru“. Zrovna tak jako speciální teorie relativity nerozlučně spojila elektřinu s magnetismem, byly prostor a čas neoddělitelně propojeny v realitě Einsteinova vesmíru. V nové teorii si dráhy světla nadále zachovávaly zvláštní místo, protože i když se zaktivovaly, stále kreslily mapy nejkratších vzdáleností neboli „nulovou geodézii“, spojující jeden časoprostorový bod s druhým. Kdyby Slunce a světlo hvězd, které vyplňuje veškerý prostor, byly viditelné, spatřili bychom zářící, pohyblivou sochařskou architekturu kosmu. Einstein dokonce řekl, že tuto nehmotnou architekturu časoprostoru bychom mohli chápat jako rehabilitovaný éter. Naprosto se liší od dřívějších představ, ale poskytuje pružný rámec, v němž uhání světlo a v němž je definován časoprostor. Einstein řekl: „Podle obecné teorie relativity je vesmír bez éteru nemyslitelný; protože v takovém prostoru by se světlo šířit nemohlo, ale také... by zde nebyl žádný základ pro časoprostorové intervaly ve fyzikálním smyslu. Ale o tomto éteru se nesmí uvažovat jako o něčem, co má vlastnosti přenosného prostředí...“

Nové chápání éteru, odmítnutého na začátku století, bylo navrhováno nejen Einsteinem, ale od té doby také dalšími významnými fyziky, jejich



Einsteinův princip ekvivalence. Astronauti uvnitř startující lodi pocítí přesně stejné zrychlení, jako když jsou v klidu na planetě.



Ohyb světla hvězdy hmotou slunce, jak předpověděl Einstein. Viditelná změna pozice hvězdy byla poprvé dokázána Eddingtonovou expedicí.

návrhy se neopírají pouze o teorii relativity, ale také o pokusy porozumět kvantové teorii. Kelvinův materiální éter je mrtvý, ale pro některé vědce éter znovu ožil v daleko jemnějším, nehmotném rouše. V prvních desetiletích dvacátého století Einstein neustále přemýšlel o světle. Zdá se, že skoro každý, kdo ho později navštívil, se o tom zmínil. Einstein udělal mnoho pro obhajobu podivného světelného kvanta, byl však přesvědčen, že kvantovou teorii celý příběh končit nemůže. V prvních desetiletích se odehrálo mnoho revolučních změn, ale Einstein se domníval, že potřeby kauzality vyžadují něco jiného než pravděpodobnostní teorii. Jak často říkal: „Bůh nehraje v kostky“. Kvantová fyzika mikrosvěta byla pro Einsteina stále neúplná, byla jen fragmentem pravdy. Můžeme si myslet, že jsme už na konci, ale tím jen klameme sami sebe. Dokonce ani pomocí koncepce světelného kvanta nebo fotonu, s níž přišel Einstein, nelze kvantovou teorii plně pochopit. V roce 1951 prohlásil: „Celých padesát let soustředěného přemítání mě nepřivedlo k odpovědi na otázku, co je to světelné kvantum. Dnes si samozřejmě každý chytrák myslí, že zná odpověď, jenže to klame sám sebe.“

Je tomu čtyřicet let, co Einstein varoval před arogancí vědecké jistoty, pokud jde o světlo. Od jeho smrti snahy porozumět světlu neustaly, avšak podstata světla stále zůstává tajemstvím.

Stále nám chybí obraz fotonu. Pozoruhodným rysem relativity je to, že její předpovědi, včetně těch o světle, vůbec nezávisí na nějakém modelu světla. Relativita nepotřebuje vědět, zda je světlo vlnou nebo částicí; k tomu, aby předpověděla ohýbání světla kolem Slunce, nepotřebuje odpovědět na otázku, co jsou světelná kvanta. Ať je světlo čímkoliv, musí být v souladu s principem relativity. Mnoho z krásy a univerzality relativity pramení z pozoruhodného rysu této teorie, kterého si Einstein velmi cenil. Jak daleko může člověk jít bez obrazu světla, jak mnoho předpovědí může učinit, aniž by věděl, co světlo opravdu je?

V uplynulých letech se někteří vědci na tuto cestu vydali, zejména pozoruhodný, nedávno zesnulý fyzik Richard Feynman. Feynman následoval cestu krásy, nikoliv obrazu, plížil se za tímto fyzikálním jevem se starobylým a vznešeným nástrojem — s důvěrou, že u kořenů existence leží dokonalost. Požadavky krásy vládly mnoha lidem po staletí a dovedly představivost těch, kteří si kladli otázky, až do dnešních dob. Od přitažlivých vlastností časoprostoru se obrátíme k abstraktní kráse dokonalosti.

CESTA ZA KRÁSNEM

Není to tak, že by se částice ubírala cestou nejmenší akce;
ve skutečnosti si očichá všechny cesty v sousedství a vybere
si tu, která má nejmenší akci.
— Richard Feynman²⁷⁸

Richard Feynman, který se už za svého života stal téměř legendou, byl brilantním mladým šprýmařem v tajných laboratořích v Los Alamos, kde J. R. Oppenheimer vedl svůj tým k výrobě první jaderné bomby. V době, kdy byl členem kongresového výboru pro vyšetřování havárie *Challengeru*, jeho nezkrotný a provokativní génius odhalil tragickou závadu na konstrukci raketového motoru, který havárii zavinil. Co na fyzice podnítilo zájem někoho tak chytrého a originálního jako Feynman, co ho dokázalo nejprve zaujmout a pak po desetiletí udržovat jeho fascinaci tímto oborem? Když jdou někomu všechny obtížné věci bez většího úsilí jako Feynmanovi, k čemu se takový člověk připoutá nejsilněji? Odpověď spočívá ve slovech, která mu řekl jeho chápavý učitel fyziky na střední škole, pan Bader. Všiml si, že se výjimečný student nudí, a dal mu něco pěkného, nad čím by mohl přemýšlet. Slovníkem fyziky řekl pan Bader Feynmanovi, že světlo, tak jako všechny věci, vždy sleduje cestu krásného.

A ZASE OHÝBÁNÍ SVĚTLA

Při rybaření si každé dítě všimne, že když ponoří rybářský prut do vody, vypadá, jako by se zlomil. Vložte lžici do sklenice vody, a když se na ni podíváte seshora, uvidíte, že je trochu ohnutá v místě, kde předtím byla rovná. Nepřekvapí nás, že když rybářský prut i lžici z vody vytáhneme, jsou v bezvadném stavu. U lžic a rybářských prutů jsme na takové chování zvyklí. Možná, že dokonce něco víme o refrakci; světlo nebo viditelný paprsek se láme, když přechází z jednoho prostředí do druhého: například ze vzduchu do vody. Proč světlo tohle dělá? Proč se láme, když ze vzduchu vstupuje do vody? Nebo, abychom otázku rozšířili, proč světlo obecně cestuje tak, jak cestuje, proč se někdy láme právě takovým způsobem, a jindy se odráží přesně v určitém úhlu? A podobně, proč kámen nebo elektron nebo cokoliv cestuje přesně tak, jak cestuje? Co stojí za chováním všech fyzikálních systémů, za všemi těmi zákony fyziky? Zdá se velmi troufalé už jen takovou otázku pokládat, avšak na velmi vysoké úrovni existuje jednoduchá a fascinující odpověď. O tomhle tehdy hovořil pan Bader s mladým Feynmanem a já věřím, že tohle nepřestalo Feynmana zajímat až do konce jeho života.

Činnost světla nás zase jednou může vést k podstatě věci. Když si bu deme lámat hlavu nad prostým lomem a odrazem světla, dovede nás to k Baderovi a Feynmanovi a překvapivě také k současným výzvám kvantové mechaniky. Příběh začíná v exotickém prostředí Egypta druhého století.



Zdá se, že první systematická pozorování refrakcí provedl alexandrijský astronom Klaudios Ptolemaios ve druhém století n. l. V jeho významném spisu o optice se zachovalo něco, co vypadá jako data týkající se úhlů světla ve vzduchu a vodě.

ÚHEL VE VZDUCHU	ÚHEL VE VODĚ
10	8
20	15½
30	22½
40	29
50	35
60	40½
70	45½
80	50

Na první pohled vypadají čísla rozumně. Úhly ve vodě jsou vždy menší než úhly ve vzduchu, tak jak to má být; celkově se výpočty zdají být v pořádku. Jenže když si člověk uvědomí pravidelnost úhlů ve vodě, začne pochybovat. Je velmi pozoruhodné, že v druhém století n. l. uměli měřit poloviny úhlů. Podívejte se na úhly pozorně a vypočítejte rozdíly sousedních čísel ve vodě. Když to uděláte, dostanete následující výsledky:

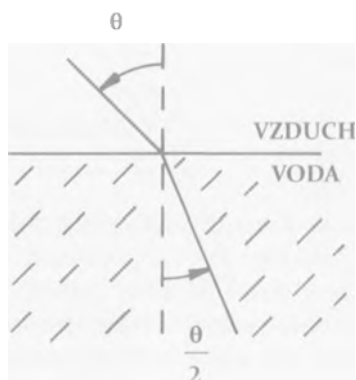
ÚHEL VE VZDUCHU	VE VODĚ	ROZDÍLY
10	8	7½
20	15½	7
30	22½	6½
40	29	6
50	35	5½
60	40½	5
70	45½	4½
80	50	4

Sloupec rozdílů je jasně aritmetickou posloupností: 4V2, 5, 5½... a tak dále, pokaždé o polovinu více. Pečlivé porovnání s úhly ve vodě naměřenými dnes ukazuje, že Ptolemaios vůbec neuvádí skutečné úhly. Jinými slovy, sloupec vodních úhlů není vytvořen měřením, ale teorií. Ptolemaios přizpůsobil svá „měření“ tak, aby vyhovovaly teorii. Jsou příliš „dobré“ na to, aby byly správné.

Nejde tady o to, že by Ptolemaios klamal, ale že pro zfalšování dat existoval určitý motiv, svého druhu motiv velmi vznešený. A sice ten, že Ptolemaios chtěl, aby data byla krásná — a krása byla pro helénistický svět geometrická, byla to dokonalost matematiky. Ty úhly ve vodě prostě musely být aritmetickou posloupností. Je to tak krásná řada a měření byla tak nepřesná, že správné musely být právě tyto výsledky. Stejně jako v případě svého autoritativního pojednání o astronomii začínal Ptolemaios své výzkumy optiky s určitými metafyzickými předpoklady o způsobu, jakým je uspořádán svět. Metafyzika doslova znamená „za fyzikou“. Jednou z jeho metafyzických hodnot bylo, že svět je utvářen podle čísla; je to opravdu „kosmos“, řecké slovo pro „řád“. Neměli bychom si myslet, že takové hodnoty jsou zastaralé. Einstein, spolu s mnoha dalšími vědci, houževnatě pokládal hodnoty krásy a řádu za základní charakteristiky důležité pro teoretika. A ani Ptolemaios nebyl ve své době sám.

Ačkoliv s Ptolemaiem v otázce znaků refrakce nesouhlasíme, filosof ze 4. století Damianos projevoval podobný přístup, když probíral refrakci ve svém pojednání o optice. Zákon o refrakci odvodil na základě následující logiky: „Když Příroda nechce připustit, aby náš vizuální paprsek bloudil bez užitku, bude ho lámat ve stejných úhlech.“ A tak podle Damiana existuje pro přírodu jeden „nejlepší“ způsob, jak lámat světlo, jinak by na světě vládl neúčelný vizuální chaos. Nejlepším způsobem je zařídít, aby úhel lomu byl vždycky polovinou dopadajícího úhlu.

O osm set let později s Damianem souhlasil Grosseteste, který metafyzický základ pro derivaci vyjádřil ještě jasněji: „Tento princip přírodní filosofie nám ukazuje, že každý krok přírody je umožněn tím nejvíce určitým, nejkratším a nejlepším prostředkem.“²⁷⁹ Naneštěstí fakta o refrakci nesouhlasí s nejlepším možným světem, jak si ho představovali Damianos a Grosseteste; nejkratší nemusí být nutně nejlepší.



Grossetestův dávný a nesprávný zákon refrakce,
založený na smyslu pro krásno.

Spontánní reakcí na tohle všechno je nazvat takové metafyzické zdůvodňování nesmyslem. Rozhovor pana Badera s Feynmanem sice nebyl vzdálen Damianovi a Grossetestovi, ovšem s jedním zásadním rozdílem: Baderova definice „nejlepšího“ prostředku byla správná! V Platónově terminologii to byl prostředek božský.

PŘÍČINY: NUTNÉ A BOŽSKÉ

Platón měl za to — a po něm až do sedmnáctého století takřka všichni filosofové —, že existují přinejmenším dva typy příčin. Jedny nazýval „božskými“, zatímco ostatní byly pouze „nutné“. Božské příčiny jsou „nadány myslí a vyvářejí věci dobré a spravedlivé“. Naproti tomu nutné příčiny postupují hrubou silou a ponechány samy sobě, bez řízení božskými příčinami, by vedly pouze k možnostem, k chaotickým výsledkům.

Tesaři s nástroji a připraveným materiálem stejně jako nutné příčiny vyžadují myšlenku, kterou obvykle vyjádří architekt nebo vlastník dřívě, než může být dům — správný dům — postaven. Se světem je to stejné jako se stavbou domu. Samotné síly přírody jsou neinteligentní, hrubé, doplňkové příčiny, které jsou vyššími božskými příčinami povolány, aby „vykonaly nejlepší možné“, říká Platón.

Aristotelés pojmenoval Platónovu božskou příčinu *causa finalis* čili cílovou příčinou a odlišil ji od tří dalších doplňkových příčin: látkové příčiny (trámy domu), účinné příčiny (stavaři s jejich nástroji) a příčiny formální (plán domu od architekta). Cílovou příčinou domu je jeho využití jako úkrytu před nepohodou. To, k čemu dům slouží, jeho účel, je potom *causa finalis*.

V jakém smyslu můžeme využít cílovou příčinu v optice? Když si člověk láme hlavu nad jevy refrakce a odrazu, zcela přirozeně se ptá, jaké síly zde působí, jaké tlaky a přitahování působí na činnost světla (ať už ho bereme jako částice nebo vlny). Neptáme se, po jaké „nejlepší“ dráze se světlo vydá. Ale ve fyzikální vědě existuje tradice — Damianos, Grosseteste a Feynman jsou její součástí — která si klade právě tuto otázku.

Tato tradice se táhne přinejmenším k Hérónovi Alexandrijskému (asi 125 před n. 1.), který dokázal, že dráha vizuálního paprsku (nebo světla) odrážejícího se od zrcadla je nejkratší možnou dráhou spojující oko a zdroj světla s odrazem ze zrcadla. Všechny ostatní dráhy jsou delší. Světlo sleduje nejlepší dráhu, pokud nejlepší rozumíme nejkratší.

Jak Damianos, tak i Grosseteste znali Hérónův závěr a pokoušeli se přizpůsobit jeho zdůvodnění případu refrakce. Potíž je v tom, že pro refrakci světlem uražená dráha zjevně *není* nejkratší fyzikální vzdálenosti spojující světelný zdroj a oko. A tak vymysleli alternativní pojem nejlepšího, a sice shodné úhly. Neuspěli nikoliv proto, že použili metafyzické kritérium, ale spíše kvůli výběru metafyziky. Potřebovali kritérium blízké tomu, které použil Hérón. Potřebovali pojem nejkratší optické vzdálenosti, která se obvykle liší od vzdálenosti přímočaré.

Namísto jednoduchého kritéria nejkratší vzdálenosti rozvinul Fermat svůj „princip nejmenšího času“. Světlo *vždy* cestuje dráhou, která je nejkratší nikoliv z hlediska vzdálenosti, ale času, který potřebuje, aby se dostalo z jednoho místa na druhé. Stejně jako rozumný člověk, který pravidelně dojíždí do práce a snaží se tam dostat během dopravní špičky,

i světlo si může vybrat delší fyzikální vzdálenost, pokud je cestovní čas kratší. Lom světla vstupujícího ze vzduchu do vody, refrakce, je případem, kdy světlo sleduje dráhu, která je sice delší, ale vlastně trvá kratší čas. S Fermatovým principem nejkratšího času, nikoliv s geometrickými znalostmi, které měl Hérón, je možné odvodit pravdivý zákon refrakce (Snellův zákon) stejně jako zákon odrazu. Světlo sleduje nejlepší dráhu, jenom když víme, co znamená nejlepší.

PUTOVÁNÍ PO VŠECH CESTÁCH

Bylo by krásné, kdyby zde příběh končil, ale Fermat byl pouze prvním věd cem moderní doby, který použil širší a mocnější, sjednocující princip, jež současná fyzika velmi miluje. To, co řekl pan Bader mladému Feynmanovi, byl pro dvacáté století upravený Fermatův princip. Dnes je tento princip, zobecněný francouzským matematikem Maupertiem v roce 1977, známý jako „princip nejmenší akce“. Jeho vlastnosti nejsou důležité, postačí, když řekneme, že platí pro překvapivě široký okruh fyzikálních jevů, ať už v optice, mechanice, hydrodynamice, elektrodynamice nebo v kvantové teorii, a že jím můžeme definovat kvantitu nazývanou „akce“ a pokračovat odvozováním zákonů fyziky v oblasti, která nás zajímá, tak, že nacházíme dráhu, na níž je akce nejmenší. Odtud jméno: princip nejmenší akce.

Otec moderní kvantové teorie radiace, Max Plaňek, spatřoval v tomto principu velkou pravdu. Na rozdíl od „diferenciálních“ fyzikálních zákonů, které popisují jednotlivé postupné okamžiky působení sil na pohybující se částici, princip nejmenší akce zřejmě pracuje s úplnou dráhou jako celkem. Formálně můžeme vždy přejít od integrální k diferenciální formulaci, ale každá z nich v sobě nese zvláštní přístup ke světu. V tom diferenciálním jsme hlavním zadavatelem dohlížejícím na celou partu stavějící dům a na materiál, který používají; zajímají nás pouze nutné příčiny. Ale můžeme také pominout manuální práci a obdivovat dílo, které ve své mysli spatřujeme zcela završené, dokonce ještě předtím, než bylo skutečně postaveno. Když to uděláme, můžeme si představovat další návrhy, další možné cesty, a pak si vybrat ten nejlepší, abychom naplnili božskou příčinu. Oba způsoby splnění úkolu mají svou hodnotu, každý z nich má své opodstatnění. Ve fyzice rozhoduje příroda, to ona vybrala svou „božskou příčinu“, a tou je zřejmě princip nejmenší akce.

Věřím, že to, co nadchlo mladého Feynmana, byla zkušenost spatření krásy a úplnosti tohoto vesmíru, spatření toho, co zvolila příroda. Tato představa, která byla okamžikem vědecké inspirace, přinesla nádherné plody, když Feynman později jako brilantní student na Princetonu vytvořil svůj „dráhový integrál“ (*path-integralformulation*) kvantové teorie právě na principu nejmenší akce. Mnozí vědci ji považují za nejkrásnější ze všech pouček kvantové teorie. Podle ní se kvantová částice, ať už světelná nebo hmotná, ubírá všemi cestami, všemi dráhami. Když se na ně vydá, vybere si z nich tu, jejíž akce je nejmenší. Ať už je světlo čímkoliv, tady ho nalezneme.

Ke světlu nás vedou dvě výzkumné cesty. Jedna nás přivádí k tomu, co je univerzálně pravdivé a co pracuje s mocnými principy jako relativita a nejmenší akce. Druhá směřuje k nekonečně malému, ke stavebním kamenům světa. I když je nazýváme jinak, dokonce i dnes používáme Platónův rozdíl mezi „božskými“ a „nutnými“ příčinami. Einstein je označil jako principiální a konstruktivní teorie. Těmi prvními si lichoťme, že jsme rozpoznali racionalitu vesmíru, jeho ukrytou inteligenci; pomocí těch druhých zjišťujeme podrobnosti, s nimiž příroda uskutečňuje své cíle. Hra byla napsána a my zvědavě nakukujeme postranními kulisami, jak funguje jevištní technika. Goethe a většina filosofů dvacátého století nás varovali, abychom nepřikládali velký význam „realitě“, kterou tu uvidíme. Objevy, které učiníme, „reality“, které tu vidíme, nejspíš odrážejí více o nás než o předmětu našeho zkoumání, a jak se ukázalo, dvojnásobně to platí o moderní fyzice. Jenže my se jen neradi vzdáváme potěšení vyvozovat z našich teorií představy. Přejeme si vědět nejen to, jak se světlo chová, ale také co to je. Nechotni přijmout odpovědi minulosti pracujeme na našem vlastním chápání, vytváříme si své vlastní idoly.

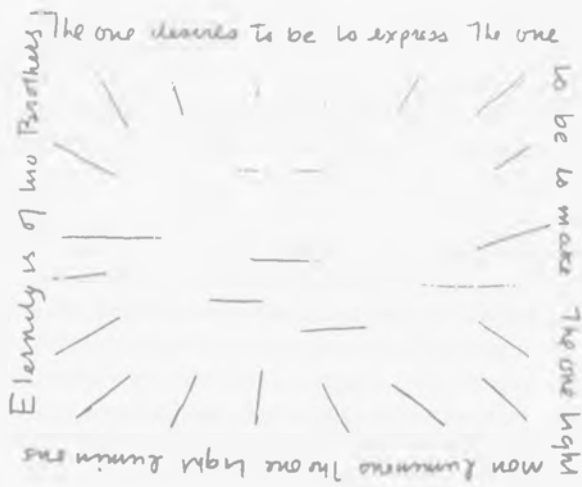
Ani zákony relativity, ani princip nejmenší akce o povaze světla nemluví. Začneme od naprosto nevinných kroků vytváření intuitivně rozumných předpokladů, avšak i tak tyto teorie přinášejí mimořádné dedukce vedoucí k univerzálním zákonům krásy a síly. Jenže jsou lidé, kterým zákony nestačí. Je třeba jít ještě jinou cestou, a sice cestou rozdělení na nejmenší části. Tu známe z předcházejících kapitol. Už od dob, kdy Leukippos a Démokritos přišli s atomistickou filosofií, hledala věda základní složky přírody. Takovou analýzou bude světlo nevyhnutelně zredukováno na své nejmenší části. A přesto nás i zde čeká tisíc překvapení, protože nejmenší část světla doslova ukrývá celek.

Žijeme v rovnováze mezi částí a celkem, mezi diferencovaným a integrálním, mezi temným ahrimanským duchem a vábením ducha zářivě světlého, mezi, jak to nazval Schiller, tíhnutím k podstatě a tíhnutím k formě. Mezi nimi nacházíme svou cestu a každému dáváme, co mu náleží. Schillerovi se líbil tento druh závazku vlastní pravdivé hry se světem, protože jen ve hře je člověk svobodný.

Louis Kahn jednou vyprávěl o úkolu, který si sám uložil.

„Dal jsem si závazek nakreslit obraz, který by demonstroval světlo. Když se ale k něčemu takovému zavážete, nejdříve někam utečete, protože je to nemožné. Řeknete si, že ilustrací světla je bílý list papíru, co dalšího můžete ještě udělat? Když jsem ale inkoustovým perem nakreslil na papír čáru, uvědomil jsem si, že černá barva je tam, kde není světlo, a pak už jsem mohl tu kresbu dokončit, protože jsem byl schopen odlišit, kde světlo není, což byla místa, kam jsem kreslil černé čáry. Pak se obraz stal plně srozumitelným.“

Dokonce i umělec musí vyvolat tmu, aby mohl nakreslit světlo. Louis Kahn tuto pravdu znal lépe než většina ostatních lidí. Já jsem na tom stejně. Konečná množina výrazů jazyka je mojí paletou a můj omezený pojmový svět určuje značky, které jsem schopen udělat. Podobně jako Kahn mohu nanejvýš klást slova tam, kde není světlo. Ale tím, že to dělám, se možná také tato kniha stane zcela jasnou.



Šířící se světelné skupiny / Zažehávají divoký tanec /
Planoucího šíření / Dokud se neobjeví hmota

Věčnost jsou dva bratři / Jeden touží být, aby se
vyjádřil / Druhý touží být, aby činil / Jedno světlo nyní
zářící / Jedno světlo zářící

Ticho a Světlo Louise Kahna