

ZPÍVAJÍCÍ PLAMEN: SVĚTLO JAKO VLNA V ÉTERU

Arthur Zajonc

Dáváme hlině tvar hrnce, ale je to prázdnota uvnitř, která drží pohromadě cokoliv, co chceme.
— Lao-c'

Po celou historii byl prostor čímsi na způsob prázdnoty uvnitř hliněného hrnce Lao-c'. Ne hrnec, ale prázdnota uvnitř drží pohromadě cokoliv, co chceme. Vždy když jsme vytvořili nějakou představu, prostor držel pohromadě cokoliv, co jsme do té představy vložili. Pod slovem prostor jsme si představovali mnoho věcí a toto představování mělo vliv na naši představu světla. Dejme prostoru božskou podstatu, a světlo bude božské; odhalme jeho tvar, a světlo bude geometrické; naplníme ho hmotou, a světlo získá hmotnou podstatu. Od Mojžíše až po Einsteina jsou dějiny světla také dějinami prostoru.

Když v prvním dni stvoření pravil Bůh: „Budiž světlo!“, raní církevní Otcové chápali toto první světlo jako vznešenou, duchovní skutečnost, kterou nazývali slovem *lux*, což znamenalo duši prostoru. Církevní Otcové a po nich středověcí učenci dlouho a tvrdě pracovali na rozlišení *lux* od jeho emanace či tělesného protějšku nazývaného *lumen*. Pro nás těžko pochopitelné rozlišení, nicméně pro jejich vidění světa bylo základní.

Lux bylo Bohem darované, bytostné světlo, samotná bytost světla, a jako takové bylo odrazem svého Tvůrce. Augustin viděl světlo jako to nejjednodušší, nejvznešenější, nejrychlejší a nerozmanitější ze všeho tělesného bytí. *Lumen* byl naopak hmotný způsob, kterým vznikalo naše vnímání světla (jakožto *lux*). Vnímáme-li sluneční záři, vnímáme sluneční *lux*, avšak děje se to prostřednictvím neviditelného *lumen*, které ho k nám přivádí. V době mezi Augustinem a Galileem oduševnělý prostor (*lux*) zmizel a zanechal tu po sobě hrubý hmotný pozůstatek (*lumen*) jako zkamenělý doklad pro zvědavé přírodní filosofy. Světlo fascinovalo tenkrát a fascinuje i dnes, neboť jak napsal Leonar- do: „Mezi naukami o přírodních příčinách a zákonech je to světlo, které nejvíce těší své studenty.“ Od zářícího oka starého Egypta až k dnešní kvantové teorii pole světlo vytvořilo prostor tak, aby odpovídal jeho požadavkům.

V Grossetestově představě rozvíjení světla ze svého prapůvodního zdroje dalo zrod prostoru coby světlu zmnožujícímu sama sebe, pokolení za pokolením, až dokud samo spotřebované nezaniklo na okraji vesmíru, který stvořilo.

Eukleidův a Brunelleschiho prostor byl čistě geometrický. Světlo a vidění se uskutečňovaly jako paprsky — čistá geometrie vnímajících přímek spojujících duši se světem.

Pro Descartesa byl prostor vyměřený, rozprostraněný, a proto musel být hmotný. Neuměl si představit rozprostraněný prostor bez hmoty; kde bylo jedno, muselo být i druhé. Vzhledne-li člověk ve dne nebo v noci vzhůru, vidí „oblohu skládající se z tekuté látky“ a planety kroužící v jejích vírech jako trávu ve vírech vodního proudu. Světlo, ať už je to cokoliv, musí procházet tímto hmotným prostředím. Na konci osmnáctého století byl tímto hmotným prostředím éter, jehož pohyby se staly oním *lumen* způsobujícím vidění, a *lux* už nebylo vlastností Boha, ale pouze subjektivním přeludem mysli.

Naše znalosti světla jsou tak provázány s našimi představami prostoru. Vyvíjely se společně: morální prostor a spirituální světlo, perspektivní prostor a geometrické světlo, hmotný prostor a hmotné světlo. Každá doba zdůrazňovala jednu z tváří světla, a tak odhalila jeho zvláštní vlastnosti. Částicové pojetí světla zdůraznilo jeho hmotnou povahu, a přesto trpělo vážnými nedostatky. Možná, jak někteří navrhovali, než abychom o světle uvažovali jako o hmotné podstatě nebo o fluidu, jedná se spíš o čistou formu, tančící obrazec. Koneckonců i tajemná povaha zvuku se nakonec osvětlila a ukázalo se, že se jedná o chvění vzduchu. Nemohlo by podobně

zpracování prospět také světlu? Je dost příznačné, že matematik, jehož životní práce spočívala v neustálém uvažování o nehmotných jevech, měl první obhajovat představu světla jako obrazce tančícího v éteru.

Leonhard Euler, největší matematik osmnáctého století, autor nesčetných matematických a fyzikálních pojednání a autorsky neplodnější člen jak pruské, tak ruské akademie věd, byl ve věku třiapadesáti let a téměř slepý poctěn prosbou zvědavé princezny z Anhalt-Dessau, která chtěla slyšet jeho vědecké názory. Jeho dopisy pro ni psané mezi lety 1760 a 1762 pokrývaly všechny oblasti přírodních věd a rychle získaly pozornost celé Evropy, a to v 36 vydáních v devíti jazycích. Když psal princezně o světle, předem vytušil její (a zároveň i naši) otázku. „Poté co jsme mluvili o slunečních paprscích, které jsou zdrojem všeho tepla a světla, jež zakoušíme, se nepochybně zeptáte: Co jsou tyto paprsky? To je bezesporu jedna z nejdůležitějších otázek fyziky.“

Jeho odpověď, tak jak přišla v době, která zněla ozvěnou Newtonových myšlenek, byla kacířským názorem. Odpověděl totiž, že paprsky slunečního světla jsou „vzhledem k éteru tím, čím je zvuk vzhledem ke vzduchu“ a Slunce není nic jiného než zvon vyzvánějící světlo. Těmito slovy byla ohlášena první významná výzva Newtonovu pojetí světla. Na to princezna odpověděla: „Ano, pane, ale co je zvuk a co éter?“ Jestliže chceme rozumět světlu na základě analogie se zvukem, pak musíme nejdříve mít určitou znalost zvuku.

Znalosti týkající se zvuku se neobjevily naráz. Jeho duchovní původ je zahalen v záři božského Slova; mezi ty, kdo po něm pátrali, patří velké osobnosti všech dob. Přesto sice pomalu, ale jistě narůstaly poznatky o podstatě zvuku, a v Eulerově době už princezna mohla dostat plnou odpověď. Stejně jako Euler se musíme na chvíli odchýlit od našeho vyprávění o světle, abychom prozkoumali dějiny zvuku. Když porozumíme zvuku, oceníme také onu půvabnou analogii, kterou Euler navrhl pro podstatu světla.

O NAUCE O HARMONII A O VAKUU

Zvony ze „Sluneční věže“, nádherné severní věže katedrály v Chartres, svolávají věřící na mši. Tři sta metrů pod nimi v klenbě Královské brány jsou jiné, tiché zvony z kamene. Vznikly jako součást zpodobnění učeného křesťanského života dvanáctého století, zpodobnění vzdělaného a meditativního života, který spočíval v ovládnutí sedmi „svobodných umění“. Těchto sedm disciplín představovalo to, co Vilém z Conches nazýval „správným a jediným nástrojem veškeré filosofie“. Čtyři z nich byly zasvěceny vědám. Tato čtveřice, tzv. kvadrivium, „osvětlovala mysl“, a jednou z těchto disciplín byla muzika, nauka o hudbě. Jako středověký patron hudby není v Chartres vytesán žádný raný křesťanský skladatel, nýbrž pohanský filosof Pythagoras, jak při své práci naslouchá zvonění zvonů a tónům liry, což byly nástroje, na kterých poprvé objevil přítomnost čísel ve všech věcech. Mohlo by se zdát, že poslouchá jenom pozemské tóny, ale mistři z Chartres dobře věděli, že Pythagoras poslouchal neslyšitelnou nebeskou hudbu, jejíž božské harmonie zaznívaly vědou od Pythagora až po Johannese Keplera. Stejně jako světlo, i zvuk má svou jak duchovní, tak světskou historii, jejíž průběh je obdobný jako u jeho viditelného protějšku. Podle *Kalevaly*, finského národního eposu, byl svět stvořen zpěvem. Dříve než bylo možné pomocí zvuku poukazovat na mechanický obraz světla, jako to udělal Euler, musel se zvuk ztělesnit a přestat být věčnou ozvěnou božského Slova.

Přechod k výhradně mechanické představě zvuku se odehrál v sedmnáctém století. Charakteristickou postavou v tomto příběhu byl vzdělaný jezuita Athanasius Kircher, který v sobě spájal náboženské zanícení s moderním sklonem k experimentálnímu zkoumání a odhalování pohanských pověr. Například verš z Jóbů: „když jitřní hvězdy sborem zpívaly...“ chápal jako poukaz na pythagorejskou harmonii nebeských sfér, což bylo téma, které podrobně komentoval v mnoha spisech. Když toužil slyšet čistou píseň Hospodinovu, ve své laboratoři a muzeu zvuku na univerzitě v Římě sestavoval Kircher důmyslné nové akustické nástroje, které často užíval k tomu, aby prosté občany vyvedl z jejich pověřivých představ. Tak například o Letnicích, které byly ustanoveny k připomínání zázraku Ducha Svatého, kdy ohnivé plameny sestoupily na první křesťanské učedníky, Kircher a jeho společníci vytáhli na horu sv. Eustachia obrovské trouby. Aby působili jako součást andělského chóru, zpívali litanie, které byly slyšet ve vesnicích v okruhu deseti kilometrů. Přes dvě stě vesničanů následovalo výzvu shůry a přinášelo těmto bronzovým andělům dary. Ale Kircher byl také vážný vědecký pracovník, jehož nejvýznamnějším vědeckým experimentem byl první pokus o zkoumání šíření zvuku ve vakuu. Již pouhá myšlenka vakua, prostoru zbaveného hmoty, byla za Kircherových dnů ostře napadaným filosofickým tématem. Dávno předtím Aristotelés prohlásil: „Příroda se děsí prázdnoty (vakua)“, a jeho slova měla nesmírnou váhu. Nehledě na spory Kircher v roce 1650 obrátil

vzhůru nohama sloupec rtuti (tak jak se to běžně dělá ve rtuťových barometrech) a do prázdného prostoru nad mědí umístil malý zvonek. Když pak pohyboval magnetickou rudou blízko železného srdce zvonku, rozezvonil zvonek, a protože ho navzdory vakuu slyšel, učinil z toho celkem rozumný závěr, že pro přenos zvuku vzduch *není* nutný. Jiní učenci z Accademia del Cimento ve Florencii zopakovali tentýž pokus se stejnými výsledky a závěry. Zdálo se, že tohle všechno podporuje názor zastávaný francouzským atomistickým filosofem Gassendim, který tvrdil, že zvuk vzniká emisí jemného proudu neviditelných částic, které cestují od zdroje k uchu. Teprve až deset let po Kircherově experimentu dokázal Robert Boyle (použil totiž mnohem dokonalejší von Guerickeovu vakuovou pumpu), že zvonění *nemůže* být slyšet, jestliže je zvonek pečlivě zavěšen ve skleněné nádobě, ze které byl vyčerpán vzduch. Vzduch *je* nutný pro přenos zvuku. Je zajímavé, že přesto můžeme ve vakuu vidět; vakuum není temné, což znamená, že světlo naopak vzduch pro svůj přenos nevyžaduje. Ačkoli však světlo na rozdíl od zvuku nepotřebuje vzduch k tomu, aby mohlo cestovat, přesto je docela dobře možné, že ve vakuu zůstává mnohem jemnější látka, kterou Boyleova vakuová pumpa nemůže odstranit.

Objev, že zvuk pro své šíření potřebuje hmotné prostředí, a objevy s tím spojené, jako je přesné změření a určení rychlosti zvuku — to vše mělo za následek připoutání zvuku k zemi. Ve vědeckých představách se zvuk stal mechanickým a materiálním jevem. Ale jak napsal Bacon, zvláštní povaha zvuku zůstala „prozkoumána jen povrchně“, a byla „jednou z nejtajemnějších částí přírody“. Jakým způsobem je zvuk fyzikálně vytvářen a jaká je jeho přirozenost při jeho letu vzduchem?

Zazpívejte pár tónů a přitom se dotkněte svého hrtanu nebo si pevně přitiskněte prsty do uší. Chvění, které cítíte, jasně poukazuje na mechanismus spojený s vytvářením zvuku. Podívejte se zblízka na napjatou houslovou strunu nebo na konec brumle. Jejich rozostřený pohyb přirozeně vede k asociaci chvění s vytvářením zvuku, k asociaci, kterou provedl už Aristotelés. Nicméně, jak konkrétně takové chvění odpovídá zvuku?

Matematický vztah mezi výškou tónu a napětím nebo délkou struny nás zavede zpět k Pythagorovi, ale spojení tohoto vztahu s určitou frekvencí vibrace má svůj původ u Galilea na konci „Prvního dne“ jeho *Diskusí o dvou nových vědách* z roku 1638. Kdyby se vám snad stalo, že zaškrábete nehtem o tabuli, skřipot vám nezpůsobí jenom husí kůži, ale také ucítíte vibrace na špičce prstu. Vyzkoušejte to s kouskem tvrdé křída a uvidíte, že kmitající křída za sebou zanechává dráhu teček, které jsou buď blíž, nebo dál od sebe, podle toho, zda křída vydává vysoký, nebo nízký tón. Toto poprvé pozoroval Galileo, když mu ujelo tvrdé železné dláto po bronzové desce. Potom přejížděl dlátem bronzovou desku opakovaně za různých podmínek. Ačkoli to skřipání muselo drásat uši, výsledky byly potěšující. Po každém kmitu dláta zůstala v desce stopa. Když Galileo sečetl počet stop na určitý úsek, mohl odvodit výšku tónu vyjádřenou počtem kmitů za sekundu. Byl dokonce schopen potvrdit starý pythagorejský poměr pro hudební interval kvinty, když rozezněl svůj nástroj z dláta a desky a porovnal to s dobře naladěným klavichordem. Výška a frekvence kmitů tedy byly navzájem spjaty. Zvuk se stal kmitáním, které prochází hmotným prostředím vzduchu.

Vzpomeňte si na obraz mořské vlny valící se ke břehu. Vlna, když se řítí kolem, zdvihá a snižuje vodu, ale nežene ji k pobřeží. V tomto ohledu je každé vlnění stejné. Malý, někdy velmi malý pohyb stačí k vyslání „tvaru“, který se odviní rychle pryč od svého zdroje. Prostředí, které nese tento (var, se nanejvýš jemně chvěje, nicméně zvuk hromu cestuje rychlostí osmnácti kilometrů za minutu a lze ho slyšet na vzdálenost delší než třicet kilometrů.

Dvě stě let po Galileovi, během koncertního představení nádherných Beethovenových skladeb pro houslové trio, a dlouho potom, co byla prokázána, získala kmitavá podstata zvuku neočekávané vizuální potvrzení. Během poslechu houslového tria zabloudil pohled doktora medicíny Johna Lecontea ke dvěma dvoudírkovým hořákům plynového osvětlení u klavíru. Plamen jednoho z hořáků vypadal, že se rytmicky zachvívá v *dokonalé souhře* s hudbou. Dokonce trylky violoncella krásně zvlňily tvar plamene, takže i „neslyšící by mohl vidět harmonii“. „Citlivý plamen“ zviditelnil neviditelné chvění zvuku.

Chladná, matná záře sluneční houby vnukla Galileovi myšlenku, že světlo by mohlo být těleso, nejmenší těleso na světě. Možná, že se mýlil, možná, že bychom jeho těžkopádnou materialistickou představu světla mohli nahradit představou světla jako jemného vlnění, které rozkmitává éter podobně, jako trylky violoncella rozkmitávají otevřený plamen. Možná je světlo zpívající plamen, jemné chvění světlovodivého éteru.

DVĚ TVÁŘE POZNÁNÍ

Zvuk zbavený starých představ, které jej spojovaly s tvůrčím Božím Slovem, si osvícení intelektuálové osmnáctého století představovali jako vlnu v neviditelném prostředí vzduchu střídající zhuštění a zředění. S takto ustavenou představou zvuku byla přirozená jejich domněnka, že světlo je podobné povahy. Představivost, ať vědecká či jiná, vidí neznámé v navyklých ustálených obrazných způsobech vyjádření: Boha v člověku, světlo ve zvuku.

Než se vydáme dál, měli bychom se na chvíli zastavit a uvědomit si, jak neúplná je představa, kterou jsme si vytvořili o zvuku. Čisté, neměnné kmitání není nositelem významu; to je poučka matematické fyziky. Hrajte na housle *pořád* tón H, a nic tím nevyjádříte, ani hudbu, ani výraz; nepřenesete žádný „signál“. Ve skutečnosti váš sluch tohle velmi dobře ví, a tak se nebude starat o to, aby poslouchal neměnnou zvukovou kulisu, ať už je to vodopád nebo bzučení silně znečištěné zářivky. Abychom mohli mluvit, musíme čisté tóny, které vydáváme, modulovat a tvarovat je do slov. Hrabě Maurice Maeterlinck to věděl, když napsal: „Duše se váží v tichu, jako se zlato a stříbro váží v čisté vodě, a slova, která pronášíme, by neměla žádný význam nebýt ticha, v němž jsou ponořena.“

Chvění vzduchu se podobá beztvaré hroudě hlíny předtím, než z ní sochařovy ruce stvoří mocné dílo, které nás může oslovit. Lidský hrtan pracuje jako ruce — přetváří monotónní zvuk fyzikálního zvukového oscilátoru do smysluplné lidské řeči. Mohlo by totéž platit pro světlo? Adelard z Bathu ve dvanáctém století napsal, že zrak je „viditelný dech“. Představoval si, že „nadechujeme“ vnější světlo (*lumen*) a „vydechujeme“ světlo významu (*lux*), což nám připomíná opačné chování vnitřního a vnějšího světla, které popisovali Řekové.

Vidět zvuk nebo světlo jenom jako kmitání znamená rozemlít Michelangelova *David*a na mramorový prach. V jistém smyslu to může být správný postup, ale ztratíme tím určitou pravdu, kterou socha ztělesňuje. Nedotčený mramor v sobě skrývá nekonečné možnosti. Může, podobně jako bůh Próteus, přijmout jakýkoliv tvar. Ponechán sám sobě neznámá nic. Když použijeme jazyk světla, je to, jako by *lux* musel ustavit *lumen*, aby nás fyzicky i psychicky mohla zasáhnout řeč, hudba nebo ptačí zpěv. Jestliže kmitání je tělo artikulovaného tónu, pak jeho duch se odráží v jeho nekonečně nuancované podobě. Zrak stejně jako sluch potřebuje k významu modulovaný a zpracovaný tvar světla. Stabilizujte dokonale obrazy na sítnici, a ony zmizí. To je danost psychologie vnímání. Vidíme pouze změnu, pohyb, život. Zvláštní vlastnosti řeči a sluchu se během osmnáctého století vydělily do jiné disciplíny (počátky fyziologie smyslu a psychologie vnímání) a opustily tak „tělesné hledisko“ fyziků. Jeden z nich, Leonhard Euler, podal první pečlivě podloženou vibrační teorii světla ve své *Nové teorii světla a barvy* v roce 1746. Svítící předměty podle něho „vibrují“ a éter přenáší tyto vibrace do oka, stejně jako vzduch přenáší vibrace do ucha. Pro podporu své vlastní vibrační teorie nejprve potřeboval zdiskreditovat Newtonův částicový model, v čemž si počínal systematictěji než kdokoli předtím. Užíval mnohých námitek, které jsme zmínili v předchozí kapitole. Stejně ale Euler se svou vibrační teorií nemohl vysvětlit všechny projevy světla, především difrakční jevy. Slovo „difrakce“ razil jezuitský páter Francesco Maria Grimaldi z italské Bologne, když sledoval detailní výzkum světelných jevů v roce 1665. Difrakční jevy se téměř neznatelně vyskytují v našich životech, ale obvykle si toho nejsme vědomi.

Vyndejte ze své peněženky kreditní kartu. Velmi pravděpodobně na ní bude lesklý proužek, ve kterém se vznášejí obrázky. Obdobné trojrozměrné „holografické“ obrázky jsou někdy na titulních stranách časopisů, na propagačních letácích, ukazuje je každé muzeum vědy. To všechno jsou difrakční jevy. Některé deštivé noci se podívejte přes deštník na pouliční lampu. Znásobený, barevně změněný obraz světla, který vidíte, je difrakční jev.

Dejte prsty co nejbliž k sobě, ale tak, aby se vzájemně nedotýkaly, přidrže si je před očima a podívejte se malou škvírou na nějaký zdroj světla. Obrazec tmavých čar a tvarů, který vidíte, je difrakční jev. Nejjednodušší z bezpočtu situací, kdy dochází k difrakci, je určitě světlo přecházející okolo neprůsvitné hrany. Na pevně dané hranici se ničím

nespoutané bílé světlo náhle setkává s temnotou a podléhá jí. Následky tohoto setkání jsou sice drobné, ale patrné. Kde jsme si dříve všimli jenom světla a tmy, tam rytmicky vstupují do každé z oblastí rozmanitá, souběžná barevná pásma. Tento jev, který zůstal nepovšimnut do sedmnáctého století, obohacuje světlo o další metaforu. Světlo znovu zápasí s temnotou a jejich setkání dává vzniknout barvě.



Difrakce světla se projevuje jako roztřepeně okraje, které obklopují žiletku. Zde bylo použito laserové osvětlení.

Žádný z těchto jevů nemohl být vysvětlen pomocí částicového pojetí světla. Ještě méně adekvátním řešením této úlohy byla Eulerova teorie, protože ta stále postrádala klíčovou myšlenku. Kdyby světlo bylo stejné povahy jako zvuk, pak by se obdobné difrakční jevy měly projevit i u zvuku. A tenkrát žádné takové jevy nebyly známy. Jak se ukáže, zvuk opravdu vykazuje difrakci, ale ne tak snadno. Například si v koupelně zkuste vyloudit tón. Pomalu měňte výšku tónu a všimněte si změny hlasitosti. Když frekvence kmitání rezonuje s místností, zvukové vlny na sebe vzájemně působí a dochází k nárůstu hlasitosti. Ani tento jednoduchý akustický jev nemohl být tenkrát ještě vysvětlen. V porozumění vlnám, ať už akustickým nebo světelným, scházelo něco důležitého. Chybějící pojetí obstaral anglický vědec Young a jeho francouzský současník Fresnel ho mistrně aplikoval.

Thomas Young byl génius a polyhistor ohromujícího záběru. Ve dvou letech už četl, během svého mládí se sám široce vzdělával v matematice (infinitesimální počet) a v přírodních vědách (včetně výroby dalekohledů a mikroskopů). Od mládí ho fascinovaly jazyky: nejdřív studoval latinu, řečtinu, francouzštinu, italštinu a pak přešel k hebrejštině, chaldejštině, syrštině, samaritánštině, arabštině, perštině, turečtině a etiopštině. Young úspěšně rozluštil některé části slavné Rosettské desky nezávisle na Champollionovi a přispěl tak k objasnění staroegyptského hieroglyfického písma. Studoval medicínu v Londýně, v Edinburghu a v Göttingenu, roku 1796 obdržel diplom doktora medicíny. Jeho zájem o vidění a jeho studium oka ho roku 1801 přivedly k plodné představě, že světlo se podle citlivosti sítnice dělí na tři základní barvy: červenou, žlutou a modrou. Maxwell a Helmholtz později upravili a rozšířili Youngovo pojetí trojbarvého vidění do podoby, v jaké je přijímána dnes. Předčasně vyspělý Young, milovník tance a krásného oblečení, byl elegantním a bystrým duchem, jehož význam pro nás spočívá především v jeho revolučním „principu interference“.

Young byl hluboce ovlivněn Eulerem a souhlasil s vibrační teorií světla a všudypřítomného světlovodivého éteru. Kromě toho ale vyvinul princip, o kterém odvážně tvrdil, že by mohl vysvětlit difrakční jevy. Právě jako když si zkříží cestu vodní vlny a mohou se vzájemně zesílit nebo vyrušit, navrhol Young, že i jemné vlnění éteru může být toutéž interferencí zesíleno nebo zeslabeno až k zániku. Dnes jsme zvyklí, že se takové myšlenky vyučují v rámci přírodních věd na středních školách, ale neměli bychom brát na lehkou váhu zjevné šílenství Youngova návrhu. Podle tohoto principu by se části rovnoměrně osvětlované stěny *zatemnily* tím, že bychom *přidali* ještě více světla. Světlo plus světlo rovná se tma? Právě toto Young navrhol.

Henry Brougham to vyslovil za mnohé své současníky, když prohlásil Youngův princip za „jeden z nejnepochopitelnějších návrhů, s jakým jsme se kdy v dějinách lidských domněnek setkali.“ Společně s odmítnutím principu interference kritici odmítali i hypotézu, že světlo je vnímatelný efekt vlnění světlovodivého éteru. O éteru lord Brougham napsal: „Od tak hloupého nápadu nelze očekávat nic.“ Young, znovu a znovu nepochopen svou dobou, vypadá jako moderní Cassandra, která nemluvila nic než pravdu, avšak nikdo nebyl schopen ji pochopit. Přesto příznaky difrakce a polarizace nedaly spát těm, kteří si představovali světlo jako proud drobných letících částic, a pomalu přicházel čas překonání jejich uctívané hypotézy a zároveň čas vítězství Youngova nepochopitelného principu superpozice* (jehož nepochopitelnost je mimochodem ještě o to větší v kvantové mechanice).

Pojetí světla u Newtona, u Descartesa, u Huygense, u Younga a u Eulera se v některých částech liší, mají však jeden společný jeden důležitý rys. Všechna se zakládají na analogickém chápání světla. To znamená, že se na světlo nahlíželo jako na něco jiného: jako na kus hmoty nebo jako na vlny na hladině rybníka. Nicméně Euler rozvinul obdobný přístup, totiž formální a matematický popis přírody.

Euler vytvořil model světla podle vzoru zvuku, čímž pokračoval v zavedené tradici analogického postupu chápání jevů. Nicméně jeho matematická nátura ho vedla rovněž k alternativnímu popisu jevů — popis, který vytvořil, je vysoce abstraktní představou přírody uskutečněnou pomocí aplikace rozvinuté matematiky včetně nově vyvinuté metody infinitezimálního počtu.

Euler jistě nebyl první, kdo aplikoval matematiku na přírodu. Ve skutečnosti má aplikace matematiky, podobně jako světlo a zvuk, svůj vlastní vzrušující příběh, který zrcadlí vývoj lidského vědomí. Kdybychom se vrátili do staré Babylonie, uviděli bychom kněze-astronomy, jak stojí na střeše zikkuratů nebo jak vystupují na pyramidy, aby pozorovali pohyby Slunce, Měsíce, planet a hvězd. Na základě svých pozorování vytvořili překvapivě přesnou, čistě matematickou astronomii. Stojí za povšimnutí, že neměli žádný jiný obraz vesmíru než ten, který jim poskytovala náboženská mytologie. V následujících stoletích se vědomí astronomů od základu změnilo. Planety a hvězdy už nebyly místy, kde sídlí bohové, ale vzdálené masy hmoty geometricky uspořádané kolem Země nebo kolem Slunce. Matematika se také změnila, její obsah už nebyl omezen na čísla a aritmetické operace ani na základy a důkazy eukleidovské geometrie; okolo osmnáctého století matematika zahrnovala revoluční a zdánlivě nepředstavitelné věci, jako jsou derivace a integrály, a ke konci století se poprvé dostala k neeukleidovské geometrii. Dokonalost, kterou Galileo stáhl z nebes dolů a kterou umístil do matematiky, se nenápadně rozvíjela mnohdy znepokojivým způsobem.

Euler a jeho současníci z osmnáctého století udělali ohromný pokrok v aplikaci moderní matematické analýzy na přírodu. Euler, a po něm každý fyzik, užíval k rozpravě o povaze našeho světa dva jazyky, jako tanec slunce a stínu kolem nějakého předmětu. První oslovuje naše smyslové vnímání, druhý abstraktní uvažování. Od Eulerových dní až po dnešek byla podstata světla zkoumána nejen pomocí myšlení založeného na mechanických analogiích, ale také pomocí mnohem jemnějšího a nehmotného matematického aparátu.

Mnozí se spěchali připojit k Fontenelleovi, který se díval na divadlo přírody ze zákulisí, odkud si lze zblízka prohlédnout kladky, rekvizity, nalíčení a osvětlení. Pro hrstku ostatních byly zákulisní mechanismy přírody sice zajímavé, ale zdaleka nebyly tak nádherné jako pohled na přírodní zákony a struktury, který umožňovala optika matematiky.

Euler se ve stovkách svých listů a knih neobracel pouze ani především k německé princezně, ale k poněkud jinému a důvěrněji známému čtenářstvu. Tato díla sepsal pro úzkou a vybranou společnost, jejíž vratká existence závisela na rozmaru a štědrosti takových despotů, jakými byli Kateřina II. Veliká nebo Fridrich Veliký. V tomtéž roce, kdy vyšly jeho nesmírně populární *Dopisy německé princezně*, publikoval Euler vědecký spis nazvaný *Mechanika pevných těles*, který během následujících dvou let vyšel pouze ve dvanácti exemplářích. Je pozoruhodné, že duchovními potomky těchto dvanácti čtenářů, mezi něž se počítali Lagrange, Laplace, Poisson a Gauss, byly první matematictí fyzikové. Ti nakonec vytvořili veškerou vědeckou kulturu. Oni, a nikoli německá princezna, tvrdě pracovali, aby vypěstovali útlou rostlinku moderní vědy. V průběhu tohoto procesu, a zejména s vynálezem infinitezimálního počtu, skutečný jazyk vědecké komunikace postupně přestával být společným statkem vzdělaných lidí. Šíří propasti mezi strach nahánějším jazykem matematiků a mezi běžným lidovým rozumem asi nic nevystihuje lépe než setkání Eulera a Denise Diderota, geniálního tvůrce obrovské francouzské Encyklopedie, na dvoře ruské královny Kateřiny II.

Roku 1773 přijel do Petrohradu prostořeký *philosophe* Diderot jako první knihovník nově založené Kateřininy knihovny. Vypadalo to, že jeho troufalost, výmluvnost a ateismus by mohly strhnout mladší dvořany, takže si starší dvořané vymohli na císařovně umlčení jazyka tohoto neuctivého Francouze. Kateřina k tomu neochotně svolila, ale nepřála si být u toho. A tak bylo předem dohodnuto, že Diderot potká „ruského filosofa, učeného matematika a významného člena ruské Akademie, který je připraven mu algebraicky dokázat existenci Boha, a to před celým dvorem.“ (Mimoходом, v této myšlence pokračoval geniální matematik Kurt Gödel.) Nadešel čas, kdy se shromáždil celý dvůr, a ruský filosof (Euler!) důležitě přistoupil k Diderotovi a pronesl vážným přesvědčivým tónem: „*Monsieur*, $(a + bn) / z = x$ dokazuje, že Bůh existuje: vyvráťte to!“ Diderot, ač nepřemožen ve svém vlastním oboru, se nemohl rovnat Eulerovi v matematice, a tak debatu vzdal. Krátce nato přehodnotil svou pozici u dvora Kateřiny Veliké a vrátil se do Francie. Dokonce i encyklopedista Diderot

se uchýlil ke kruhům kolem německé princezny, když měl čelit tvrzením moderních matematických fyziků. Nehmotná matematika a materialistické představy o světě vyžadující mechanické modely neviditelných skutečností: to jsou rysy duchovního světa osmnáctého století. Dříve světlo obývalo jiné a velmi odlišné imaginární krajiny, nyní však jeho přirozenost musela přesídlit do sídla psychologického prostoru, který tenkrát nabízeli ti nejlepší doboví myslitelé. Bylo tomu snad někdy jinak? Copak obsah naší mysli nevytváří svět, který vidíme?

Avšak lidský duch je neúnavný a příroda je vždy povolná a ochotná zodpovědět otázku, o jakých se nám ani nesnilo, je schopná otevřít novou šíři pohledu a vyjevit doposud utajené okrsky svého bytí. Záhadné vlastnosti světla a nevysvětlené světelné jevy zůstávaly a povzbuzovaly pokračující výzkum. Pod jejich vlivem vyvinul jeden Francouz teorii tak úspěšnou, že překonala Newtonovu představu o světle a ustanovila jeho vlastní novou vlnovou teorii jakožto svrchovanou představu o světle.

SVĚTLO NA KRAJI SILNICE

Difrakce byla vzdorovitým faktem, který neustále odkazoval k vlnové teorii. Ale hádanka „polarizovaného světla“ také vzdorovala chápání a zpočátku se zdálo, že podporuje částicovou teorii. A především, co byl ve skutečnosti pro zastánce vlnového obrazu onen vše pronikající éter? Tyto problémy vedly badatelské úsilí zastánců vlnové teorie k úpravě Eulerova stanoviska, jež způsobilo, že se vlnový model světla stal mocným a nakonec vítězným protivníkem částicové teorie. Youngův princip superpozice, tak bizarní, jak se mohl některým lidem jevit, postrádal jednu základní součást. Stále se čekalo na nadaného, matematicky uvažujícího ducha, aby oblékl Youngův princip do elegantního a mocného formalismu. Ironií je, že tento člověk byl nalezen u silnice, jak dohlíží na vzhled a konstrukci cest a mostů — Augustin Fresnel ze Správy mostů a silnic, *Corps des ponts et chaussées*.

Kdybychom měli jmenovat jedinou událost, která by vyznačovala přechod k nové matematické představě světla, bylo by jí zasedání pařížské Akademie věd v dubnu roku 1819. Mezi členy tohoto spolku patřili nejvýznamnější matematictí fyzikové doby, z nichž většina patřila k zapřísáhlým zastáncům teorie částic. Měli vyhodnotit nejlepší vědecké zpracování problému difrakce, který se dosud vzpíral řešení. Byly přijaty jenom dva příspěvky; první byl absurdní a tím druhým bylo řešení takové síly, rozhledu a matematické náročnosti, že svého autora, poměrně nenápadného provinčního francouzského inženýra, a jeho teorii vynesla do čela bádání o podstatě a povaze světla.

Stavební inženýr Augustin Fresnel, sám a bez znalosti díla Thomase Younga, se usilovně zabýval nádherně vyvedenými pokusy sdifrací (jako výrobce svých jemných přístrojů využíval místního kováře) a rozvinul matematické základy vlnové teorie světla, která byla schopna vysvětlit to, co viděl. Všichni tehdejší velcí matematictí fyzikové, jako například Poisson, Biot a Laplace, byli zastánci newtonovského pojetí světla, a proto byli vůči vlnové teorii světla silně nepřátelsky zaujati. Fresnel musel své jedinečné pojednání předložit k posouzení těmto mužům, kteří roky čelili tomu, že neznámý inženýr z venkova vršil své útoky v jedné vědecké studii za druhou. Pomocí velmi složitého použití principu interference společně s mistrovskou aplikací infinitezimálního počtu učinil Fresnel nové a ohromující předpovědi, z nichž mnohé byly potvrzeny. Avšak jeho analýza nebyla ještě kompletní.

Ve svém návrhu Fresnel pojednal formální řešení otázky difrakce tak náročně, že ho nebyl schopen vyřešit pro jednotlivé případy. Jinými slovy, analyzoval problém difrakce jenom abstraktně, nevytvořil však žádné konkrétní experimentální předpovědi. Jeho geniální protivník Poisson dovedl k řešení jednu z Fresnelových obtížně řešitelných rovnic a pak se jí snažil předvést coby zjevnou absurditu Fresnelovy teorie. Poisson poukázal na to, že Fresnelova teorie jasně předpokládá výskyt světla *přímo za* jakoukoliv malou neprůsvitnou překážkou. Posvítíme-li tedy například na černé těleso, pak přímo za ním, v zastíněné oblasti, by mělo být světlo tak jasné, jako by tam žádné černé těleso nebylo! „Absurdní!“ prohlásil Poisson. Experimentální fyzik Arago, jenž byl Fresnelovým přítelem a podporovatelem, provedl pokus a objevil přesně takové místo, jaké předpověděl Poisson, když k tomu použil Fresnelovu teorii. Fresnelova vlnová teorie se ukázala jako správná. Poisson tak nechtěně zatloukl poslední hřebík do rakve Newtonovy částicové teorie.

Kde se taková difrakce projevuje v běžném životě? Ačkoli Fresnel ke svému zkoumání používal speciální světelné zdroje a nástroje, zcela obdobný jev lze pozorovat často v noci za úplňku. Když se přes Měsíc ženou průsvitná oblaka, objeví se těsně okolo něj barevné prstence: u Měsíce jsou namodralé a jak se vzdalují, postupně bělají a končí načervenalým kruhem. Tento nádherný úkaz se nazývá aureola nebo korona a je způsobován difrakcí měsíčního světla kolem vodních kapek nebo ledových krystalků; vzniká naprosto stejným způsobem jako u Poissonova bodu, který je nyní zopakován u každé z mnoha miliónů kapek v oblaku. Místo matného světla mohou kapky a krystalky z mraku osvětlit místo, kde by žádné světlo být nemělo, pokud si světlo představujeme jenom jako geometrické paprsky nebo jako paprsky skládající se z částic. Aureola by nám měla připomínat neskutečný výkon světla, jeho takřka zázračnou schopnost objevit se v nitru toho nejtemnějšího stínu.

Fresnel a Young dokázali vysvětlit další část experimentálně zjištěných údajů, které stále vzdorovaly pokusům o vysvětlení — totiž jevy polarizace. Nejčastější případ polarizace souvisí s ostrým slunečním světlem. Kamkoli jedete nebo plujete, vás může obtěžovat nebo dokonce ohrožovat sluneční světlo, které se odráží od povrchu. Takové prudké světlo můžeme jakoby kouzlem omezit, když si nasadíme takzvané sluneční brýle Polaroid. Tajemství tohoto vynálezu je založeno na pochopení jevu polarizace, které z velké části rozvinul Fresnel.

Necháme-li světlo projít průzračným islandským křemenem, bude to vypadat, že se z něj stalo v určitém smyslu světlo „orientované“. Tuto vlastnost můžeme ověřit tím, že necháme orientované (neboli polarizované) světlo projít druhým takovým krystalem. Ten je zrovna tak úplně průzračný, a přece z důvodu jistých vzájemných orientací těchto dvou krystalů *žádné* světlo tímto druhým krystalem *neprojde*. Zastánci korpuskulární teorie navrhovali, že částice světla jsou kvůli svému tvaru vyloučeny při průchodu prvním krystalem. Druhým krystalem by prošly jedině tehdy, pokud by byl úplně stejně vnitřně uspořádán. Bylo by to jako pokoušet se procpat čtvercové kostičky čtvercovými děrami: projdou jen tehdy, jsou-li orientovány určitým způsobem. Jevy polarizace vyvedly z konceptu zastávce vlnové teorie, protože zvuk žádnou polarizaci nevykazoval. Kdyby světlo bylo vlněním tak jako zvuk, pak by mělo vykazovat identické jevy. Fresnel navrhl řešení: jestliže vlnění éteru, které vidíme jako světlo, je „příčné“, tj. kolmé ke směru šíření, pak se můžeme přizpůsobit jeho orientaci.

Zvuk je vlnou zhuštění a zředění vzduchu. Když budeme mluvit do jednoho konce nějaké trubky, bude se vlnění uvnitř šířit rychlostí zvuku ve vzduchu. Pohyb vlnění jde tam, kam míří zhuštění. Kdyby v řadě domina mohlo zmizet každé domino hned, jak spadne na zem, pak by právě procházející vlna byla výstižným obrazem zvuku.

Světlo se spíše než zvukovým vlnám podobá vlnám na struně nebo na vodě. Struna může kmitat nahoru a dolů nebo vpravo a vlevo. To odpovídá dvěma různými lineárními polarizacím světelného kmitání, které mají na svědomí „orientaci“ světla. Odstranění prudkého světla, což je převážnou měrou horizontálně polarizované světlo, lze dosáhnout pomocí polarizačních filtrů, které nechávají projít pouze vertikálně polarizované světlo.

Jedním z nejkrásnějších a nejpřekvapivějších jevů polarizace je polarizace barev. Abychom jí docílili, jednoduše vezmeme nějaký starý kus celofánu nebo průhledný obal od bonbónu a stiskneme ho mezi dvěma polarizačními filtry (pokud máte nějaké staré sluneční brýle Polaroid, stačí, když vymáčknete skla). Náhle před vašimi očima vyvstane úžasná směsice barevných skvrn, jejichž barvy se mění podle toho, jak otáčíte sklíčky! Podrobné pozorování ukáže, že se jiná barva objeví pokaždé, když změním tloušťku celofánu.



Když se dívám na tyto barvy, nemohu nepřipomenout „synchronické“ obrazy amerického malíře Morgana Russella. V jeho obrazech se barva stává jazykem odloučeným od tvaru. Pod jedním z obrazů s názvem Synchronně v *modrofialové* katalog říká: „Pak řekl Bůh: ‚Budiž světlo!‘ a bylo světlo...“ Uprostřed obrazu je žlutá, která také celému obrazu dominuje; Russell o ní mluvil jako o barvě symbolizující světlo a první oko, které světlo uzřelo. Slečně Whitney napsal: „rozbřesk v ústřední části mého obrazu... má určitě nějakou blíže neurčenou analogii s tím, co se muselo přihodit prvnímu zrakovému orgánu.“ Na začátku tohoto století se Russell také zabýval konstrukcí toho, čemu říkal „svítící krabice“. Byly to dřevěné skříňky, u kterých byly dvě podélné strany ponechány otevřené. Dovnitř skříněk se daly umístit lampy a přes otevřené stěny se mohl natáhnout pomalovaný průhledný hedvábný papír. Když se uvnitř rozsvítila lampa, Russellovo dílo pak doslova zářilo, vyzařovalo barvu do prostoru podobně, jako sluneční paprsky prozařují vitráže, vykládaná okna. Světlo nespokojené uvnitř skřínky se dere ven, kudy to jen jde, a tím, jak prostupuje svým okolím, oživuje barvy na hedvábném papíře nebo na skle, barvy, které jsou jinak matné a tmavé.

16. dubna 1832 poslal významný anglický astronom William Herschel svému příteli fyzikovi Whewellovi něco, co také nazýval „krabice plná světla“. Tato krabice neměla umělecky malované stěny ani umělecké záměry jako Russellovy světelné krabice, ale jak vysvětloval Herschel, nebyla to „okamžitě svítící krabice, ale taková krabice, která pracuje pomalu“. Obsahovala vědecké spisy Augustina Fresnela. Mezi roky 1820 až 1835 britští vědci studovali a aplikovali Fresnelovy myšlenky. Vypadalo to, jako by základní matematické vztahy, které charakterizují světlo, byly konečně objeveny a zachyceny ve Fresnelových spisech, které se všechny vešly do nevelké kartónové krabice. Galileo by se s chutí a možná se svíčkou vloupal do Fresnelovy tajemné krabice, aby objevil základní stavební jednotku matematické podstaty světla. Světlo chtělo ven, doslovně i obrazně. Faradayovy experimenty s elektřinou a Maxwellova dynamická teorie roztrhaly krabici a rozházely papíry. Je světlo vlnění? Maxwell a Faraday by odpověděli, že ano — ale z čeho je stvořeno, o jaký druh vlnění se jedná? S Youngem a Fresnelem byli zajedno také myslitelé, básníci a umělci romantismu a amerického transcendentálního, pro něž byla podstata světla něčím, co nemůže být nikdy zachyceno v rovnicích nebo uzavřeno do krabice. Jejich přehodnocení světla bylo mnohem divočejší a radikálnější než vědecký pohled, a také ono tvoří neodmyslitelnou součást našeho příběhu světla.