



Suzie  
**Sheehyová**

**PODSTATA  
VŠEHO**

**Dvanáct experimentů,  
které změnily svět**



edice **aliter** — svazek **90**

Suzie  
**Sheehyová**

**PODSTATA  
VŠEHO**

**Dvanáct experimentů,  
které změnily svět**

Dokořán a Argo 2025

**Suzie Sheehyová**  
**PODSTATA VŠEHO**  
**Dvanáct experimentů,**  
**kteřé změnily svět**

Copyright © Suzie Sheehy 2022  
Translation © Tomáš Nosek, 2025

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být rozmnožována a rozšiřována jakýmkoli způsobem bez předchozího písemného svolení nakladatele.

Druhé vydání v českém jazyce (první elektronické).  
Z anglického originálu *The Matter of Everything:  
Twelve Experiments that Changed Our World*  
vydaného v roce 2022 nakladatelstvím Bloomsbury Publishing  
přeložil Tomáš Nosek.

Odpovědní redaktoři Zdeněk a Jan Kárníkovi.  
Redakce Marie Černá.

Obálka, sazba a konverze do  
elektronické verze Michal Puhač.

Vydalo v roce 2025 nakladatelství Dokořán, s. r. o.,  
Holečkova 9, Praha 5,  
dokoran@dokoran.cz, www.dokoran.cz,  
jako svou 1 319. publikaci (455. elektronická).

ISBN 978-80-7675-230-6

## OBSAH

---

Úvod	7
<b>Část 1. Kolaps klasické fyziky</b>	17
1 Katodová trubice: rentgenové záření a elektron	19
2 Experiment se zlatou fólií: struktura atomu	41
3 Fotoelektrický jev: světelné kvantum	62
<b>Část 2. Subatomární hmota</b>	93
4 Mlžná komora: kosmické záření a spršky nových částic	95
5 První urychlovače částic: rozštěpení atomu	126
6 Cyklotron: manufaktura radioaktivity	159
7 Synchrotronové záření: dlouho neočekávané světlo	185
<b>Část 3. Standardní model a ještě dál</b>	209
8 Rozmach částicové fyziky: podivné rezonance	211
9 Megadetektory: lov přízračných neutrin	242
10 Lineární urychlovače: objev kvarků	267
11 Tevatron: třetí generace hmoty	292
12 Velký hadronový urychlovač: Higgsův boson a ještě dál	327
13 Budoucí experimenty	359
PODĚKOVÁNÍ	375
POZNÁMKY	377
REJSTŘÍK	403



## Úvod

---

Před několika lety jsem seděla u svého notebooku a na čele mi naskakovaly vrásky z na první pohled jednoduché otázky, kterou mi právě položili čtyři profesori částicové fyziky z Oxfordské univerzity. V paměti mi jejich jména bohužel neutkvěla nejen kvůli nervozitě, ale i proto, že celý přijímací pohovor doktorského studia probíhal přes nestabilní internetové připojení v pokoji jakéhosi motelu v australském vnitrozemí. Zeptali se mě: „Co vás fascinuje na částicové fyzice?“

Byla to od nich samozřejmě záludnost, pohovory na Oxford jsou svou náročností pověstné. Já jsem si v tu chvíli řekla, že bude nejlepší být upřímná. Líčila jsem jim svůj údiv nad tím, jak fyzika zdánlivě dokáže popsat úplně každou věc, od nejmenších subjaderných částic přes atomy, které tvoří naše těla, až po vesmír v tom nejzazším měřítku, a také jak to všechno spolu souvisí.

Částicová fyzika, řekla jsem, je toho všeho základem.

\*

Pět let předtím jsem studovala stavební inženýrství na univerzitě v Melbourne. Netušila jsem, že je možné stát se fyzičkou. Ačkoli mě fyzika ve škole bavila, měla jsem za to, že vede jen ke kariéře inženýra. To se ale změnilo hned v prvním ročníku vysokoškolského studia, když mě spolužáci pozvali na každoroční zlatý hřeb aktivit studentského fyzikálního spolku – astrobivak.

Jednoho pátečního odpoledne jsme vyjeli z Melbourne a po dvou hodinách dorazili k takzvané oblasti tmavé oblohy Leon Mow. Hrbolatá polní cesta nás dovedla k budce s plechovou střechou, kde jsme poblíž rozlehlé mýtiny postavili stany, vytáhli dalekohledy a otevřeli si pivo. Jak se postupně zešěřilo, teplota klesla a vzduchem k nám doléhal cvrkot cikád. Gumičkou do vlasů jsem přes světlo své baterky připevnila kus červeného celofánu – abych viděla, ale zároveň nenarušovala temnotu noci. Vlezla jsem si do spacáku a ocenila jeho dvojí funkci: jakožto zdroje tepla a ochrany před hmyzem. Nasála jsem důvěrně známou vůni blahovičníků a pak jsem pohlédla vzhůru.

„Támhle jeden letí!“ vykřikl někdo vedle mě, když oblohou prosvištěl meteor. Ten skutečný zázrak „oblasti temné oblohy“ se ukázal, teprve když mé oči přivykly okolní tmě. Naše hovory vystrídal šepot a ten zase úplné ticho. Venuše pomalu zapadla za obzor, aby dala vyniknout i ostatním planetám. Té noci jsem si uvědomila pomalu, ale neustále se měnící povahu noční oblohy. V dalekohledech svých přátel jsem pozorovala nádherné Saturnovy prstence, jež, jakkoli mi byly dříve známé z obrázků, vypadaly tak podivně nově. Spatřila jsem hvězdy formující se v mlhovinách a kulové hvězdokupy, jejichž miliony jiskřících hvězd nás obíhají ve vzdálenostech statisíců světelných let.

Nejúchvatnější pohled byl ovšem na jasný pás hvězd a prachu, na zářivý oblouk naší vlastní galaxie, Mléčné dráhy. Z jižní polokoule se díváme směrem do středu jejího disku, od nějž jsme vzdáleni asi dvě třetiny celého poloměru. Obíháme kolem své vlastní hvězdy, která se sama též pohybuje Mléčnou dráhou. Naše galaxie křížuje vesmírem rychlostí asi 600 kilometrů za sekundu spolu se skupinou dalších galaxií. A mimo ni existují ještě miliardy jí podobných, a také hvězd



a mlhovin, černých děr a kvazarů, hmoty vzniklé přeměnou z energie kdesi a kdysi v nesmírnosti všeho prostoru a času.

V tu chvíli jsem opravdu pochopila, jak jsem nepatrná a jak je můj život vlastně krátký, jak ani nedokážu slovy vyjádřit význam toho všeho, co vidím. Hvězdy a planety nevisí někde *tam nahoře* a já nejsem *tady dole*. Vše je součástí jednoho ohromného fyzikálního systému zvaného vesmír. I já jsem jeho součástí. Ačkoli jsem to už samozřejmě věděla, dosud jsem si své místo v něm takto *newědomovala*.

A najednou už mi na ničem jiném nezáleželo. Chtěla jsem se dozvědět více o gravitaci a částicích a temné hmotě a relativitě. O hvězdách a atomech a světlu a energii. Hlavně jsem ale chtěla zjistit, jak to spolu všechno souvisí a jak do toho zapadám já. Zajímalo mě, zda skutečně existuje teorie všeho. Così mi v hloubi duše našeptávalo, že právě to je to nejpodstatnější, že právě na tom z perspektivy člověka záleží. Že porozumět tomu všemu je dostatečně ušlechtilý cíl, a pokud se mu jen o kousíček přiblížím, nepromarním všečen čas, který byl mně, vědomé bytosti, darován. Rozhodla jsem se stát se fyzičkou.

\*

Ústředním úkolem fyziky je porozumět, jak se vesmír a vše, co je v něm, chová. Jedním ze způsobů, jak k tomu dospět, je klást si postupně otázky. Jak jsem hlouběji pronikala do tajů fyziky, zdálo se, že zásadní otázkou je: „Co je to hmota a jakým způsobem spolu vzájemně interaguje, aby vytvořila vše kolem včetně nás samých?“ Dalo by se říct, že to byl pokus o nalezení smyslu mé vlastní existence. Namísto studia filozofie jsem se ale vydala trochu oklikou a snažila se pochopit rovnou celý vesmír.

Ačkoli si nad povahou hmoty lidé lámou hlavu už mnoho tisíciletí, teprve v posledních 120 letech naše zvědavost vyústila alespoň v nějaká konkrétní zjištění. Naše chápání nejmenších dílků přírody a sil, které je ovládají, líčí částicová fyzika, jedno z nejužasnějších, nejsložitějších a nejkreativnějších dobrodružství, do jakého jsme se kdy my, lidé, pustili. Máme velice podrobné znalosti o fyzikální podstatě vesmíru i o tom, jak do sebe vše zapadá. Zjistili jsme, že z fyzikálního hlediska má realita daleko bohatší a složitější charakter, než si lidé o několik generací zpět vůbec dokázali představit. Zavrhlí jsme představu atomů jakožto nedělitelných stavebních kamenů našeho světa, abychom objevili elementární částice, které v běžně se vyskytující hmotě sice zásadní roli nehrají, nicméně pro matematiku, která naši realitu (tak trochu zázračně) popisuje, se jeví jako nezbytné. V pouhopouhých několika desetiletích jsme tu skládku dali dohromady skoro celou, od výbuchu energie na počátku vesmíru až po ta nejpřesnější měření přírody vůbec.

Za těch 120 let se náš pohled na elementární složky přírody od základu změnil – od objevu radioaktivity a elektronu až po atomové jádro a jadernou fyziku, spolu s rozvojem kvantové mechaniky, která popisuje přírodu na těch nejmenších škálách. Někdy ve 20. století se tomu dohromady začalo říkat „fyzika vysokých energií“, jak se vědecká pozornost přesouvala od jader k novým částicím. Dnes se jejich studiu, tedy otázce, jak vznikají, jak se chovají a přeměňují, říká jednoduše částicová fyzika.

Všechny známé částice a síly, kterými na sebe vzájemně působí, klasifikuje takzvaný standardní model částicové fyziky (nebo prostě jen standardní model). Vznikal v průběhu několika desetiletí do zhruba 70. let 20. století za spolupráce mnoha fyziků. Je po všech stránkách ohromným úspěchem,

je matematicky elegantní a až neuvěřitelně přesný, přitom by se jeho zápis vešel na hrnek. Ještě jako studentce mi učarovalo, do jakých podrobností charakterizuje fungování přírody na její nejzákladnější úrovni.

Standardní model tvrdí, že veškerá hmota naší každodenní existence sestává pouze ze tří různých částic. Jsou jimi dva typy kvarků zvané „horní“ (up) a „dolní“ (down), z nichž se skládají protony a neutrony. Ty pak společně s elektrony tvoří atomy, které drží pohromadě díky elektromagnetismu a jaderným silám, silné a slabé. To je vše. To jsme my a všechno, co vidíme kolem nás.<sup>1</sup> Přestože se skládáme jen z kvarků a elektronů, nějakým způsobem jsme také přišli na to, že příroda toho v sobě skrývá *daleko víc*.

Cesta na tento pomyslný vrchol poznání ovšem nevedla jen skrze nějaká zásadní konceptuální a teoretická prozření. Stereotypní představa génia teoretizujícího kdesi v hlubinách svého kabinetu je do značné míry zavádějící. Fyzici v posledních více než sto letech přistupovali k otázkám jako „Co se skrývá uvnitř atomu?“, „Jaká je povaha světla?“ a „Jak se zrodil náš vesmír?“ téměř výhradně prakticky. Hlavním důvodem, proč dnes můžeme říci, že všechny ty věci *známe* a že lze důvěřovat našim teoretickým modelům v jejich schopnostech reprezentovat fyzikální skutečnost, není pěkná matematika, ale pečlivě provedené experimenty.

Naprostá většina z nás se už v dětství setká s myšlenkou, že svět je složen z protonů, neutronů a elektronů. Ale o tom, *jak* se na to přišlo, *jak* lze zkoumat hmotu, síly a vůbec prostě cokoli, se ale mluví jen velmi málo. Proton je milionmilionůkrát menší než zrnko písku, a rozhodně tedy není zjevné, jak by se s hmotou mělo v takových měřítkách vlastně pracovat. V tom spočívá kouzlo experimentální fyziky, která sleduje lidskou zvědavost od zárodků myšlenky přes

faktická fyzikální zařízení až k novým vědomostem. Onen večer při kempování pod temnou oblohou jsem pochopila, že mě fyzika baví víc, když ji prožívám na vlastní kůži, což ve mně vzbudilo touhu stát se experimentální fyzikou.

Zatímco teoretik se může kochat matematickými možnostmi svých modelů, k děsivé hranici jejich zranitelnosti – do světa reality – nás zavedou až experimenty. V tom je rozdíl mezi teorií a experimentem. Zatímco teoretický fyzik musí vzít v úvahu výsledky už dříve provedených experimentů, experimentátorky a experimentátoři to mají o něco složitější. Není to tak, že by jen dokola ověřovali teoretické předpovědi. Kladou si vlastní otázky a navrhují i konstruují zařízení, na kterých je lze ověřit.

Sami musí teorii pochopit a vhodně použít, zároveň se jí však nikdy nesmí nechat omezovat. Musí vytrvat ve své vůli neustále nacházet a zkoumat cokoli neočekávaného a neznámého. Musí rozumět mnoha rozličným věcem a jejich praktické dovednosti sahají od elektroniky po chemii, od svařování po správné zacházení s kapalným dusíkem. Nakonec to všechno musí také skloubit dohromady, aby s hmotou, kterou na vlastní oči nikdy nespatří, zvládli správně manipulovat. Fyzikální experimenty jsou extrémně náročné a nezdědka spočívají v metodě pokus-omyl. Chce to mít svéráz a jistou dávku urputné zvědavosti, aby člověk neztratil chuť se s problémy vypořádávat. Přesto se v dějinách najdou tací, kteří to s houževnatostí sobě vlastní dokázali s nadšením.

Během 20. století se experimentální zařízení používaná v částicové fyzice vyvinula ze středně velkých aparatur, které se vejdou do běžné místnosti, až k těm nejkolosalnějším přístrojům, jaké v současnosti vůbec známe. Éra „velké vědy“, která začala někdy po roce 1950, s sebou přinesla projekty, na nichž spolupracují stovky zemí a desítky tisíc vědeckých

pracovníků. Trvají někdy klidně i více než čtvrt století, stojí miliardy dolarů a staví se při nich obrovské podzemní urychlovače částic skládající se z mnoha kilometrů vysoce přesných elektromagnetických součástek. Žádná jednotlivá země dnes nemůže takových úspěchů dosáhnout samostatně.

Podobně dramaticky se proměnil i náš každodenní život. Od roku 1900 trvalo ještě dalších dvacet let, než byla do většiny domácností vůbec zavedena elektřina. Hlavním dopravním prostředkem byli koně a střední délka života ve Spojeném království nebo ve Spojených státech byla kratší než padesát let. Dnes se žije v průměru déle mimo jiné proto, že když člověka něco trápí, nemocníci pomáhá s jeho diagnózou magnetická rezonance, CT a PET skener, a navíc disponujeme řadou léků, vakcín a špičkového vybavení k léčbě. Používáme počítače, spojuje nás celosvětová síť internetu a chytré telefony. To všechno dalo vzniknout zcela novým odvětvím a způsobům lidské činnosti. Dokonce i věci kolem nás, od pneumatik až po drahé kameny ve špercích, jsou designovány, vylepšovány a zdokonalovány pomocí technologií 20. století.

Jen málokdy moderní vynálezy vnímáme v jejich souvislosti s experimentální fyzikou, ačkoliv spolu velmi úzce souvisí. Všechny výše uvedené příklady vycházejí z experimentálních konceptů, jejichž cílem bylo dozvědět se něco víc o hmotě a přírodních silách. Za dvě poslední generace jsme se naučili ovládat jednotlivé atomy a zhotovit výpočetní zařízení tak malá, že je skoro nevidí ani mikroskop, využívat nestabilní povahu hmoty k diagnostice a léčbě nemocí či nahlížet do nitra starověkých pyramid za pomoci vysokoenergetických částic z vesmíru. To vše jen díky možnosti pracovat s hmotou i na úrovni atomů a částic, díky znalostem, které jsou plodem zvědavého výzkumu.

Rozhodla jsem se pro kariéru experimentátorky v oboru fyziky urychlovačů. Specializuji se na návrhy skutečných zařízení, která s hmotou manipulují v právě takových malých měřítkách. Fyzici od urychlovačů neustále přicházejí s novými způsoby tvorby částicových svazků, jež sice primárně slouží subatomární fyzice k získávání dalších poznatků, naše práce ale čím dál častěji přispívá i jiným částem společnosti. Moje studenty, přátele a jiné posluchače stále ještě překvapuje, když jim prozradím, že v nejbližší nemocnici se nějaký ten urychlovač téměř určitě najde, že i jejich chytrý telefon se spoléhá na kvantovou mechaniku a že mohou brouzdat po internetu právě díky částicovým fyzikům. Urychlovače se staví za účelem výzkumu virů, čokolády nebo starověkých svitků. Jaderné a částicové fyzice také vděčíme za většinu podrobných poznatků z geologie a dávné historie naší planety.

Bádání motivované čistou zvědavostí začíná u hranic známého a očekávaného, tyto limity posouvá a vede k nápadům a řešením, které často mění běh dějin. Poznáním nového se tak překleneje propast mezi tím, o čem člověk ví, že je možné, a tím, co považuje za nemožné. Vskutku převratné inovace se rodí ze zvědavosti. A snad nejmarkantnější příklady tohoto jevu nabízí fyzika, zejména pak fyzika částicová. Jak tedy může tolik aspektů našeho moderního světa ovlivnit série několika fyzikálních experimentů?

Experimentů byly samozřejmě provedeny tisíce a k našemu poznání nějakým způsobem přispěly všechny. V této knize se ale seznámíme s dvanácti, které byly průlomové a vedly k objevům, jež dnes považujeme za zásadní pro chápání našeho světa. Začneme v Anglii a Německu na přelomu 19. a 20. století, kdy jen pár jednotlivců v poměrně malých laboratořích provedlo několik důležitých pozorování, po nichž se zhroutil obraz takzvané klasické fyziky a která

nám napověděla o existenci entit daleko menších, než jsou samotné atomy. Dozvíme se, jak k představám nově se rodící kvantové mechaniky přispělo několik experimentů v Chicagu a jak to fyziky z celé zeměkoule pátrající po stopách nových částic přimělo vznášet se v horkovzdušných balonech nebo se škrábat na vrcholky hor. Mísí se v tom všem radost s frustrací – charakteristický lidský prožitek z praktikování vědy, kombinace, kterou až příliš dobře znám z vlastní zkušenosti. Ohlédnutí do minulosti má ale tu výhodu, že si můžeme uvědomit něco, co první experimentátoři sami nemohli – totiž co všechno z jejich objevů a vynálezů nakonec vzešlo.

Další experimenty nám připomenou závody mezi Spojenými státy, Německem a Velkou Británií o to, kdo jako první sestrojí urychlovač částic a rozštěpí atom. Uvidíme, jak v Kalifornii vznikly první umělé radioaktivní prvky a jak šťastným řízením osudu, cestou aplikovaného výzkumu, vedly třeba až k objevu nového nástroje ke studiu a interpretaci kosmu. Na závěr si povíme příběhy vědeckých týmů a národů, které se spojily při budování experimentů gigantických rozměrů, na jejichž pozadí se odvíjela i moje vlastní profesní dráha – od amerických laboratoří, jako je Brookhavenská národní laboratoř, přes Lineární urychlovač ve Stanfordu a Fermilab až po Evropskou organizaci pro jaderný výzkum, CERN.

Dohromady tyto experimenty zosobňují podstatu vědeckého zkoumání, které vyvěrá z lidské všetečnosti. Za jedno století změnilý náš život v téměř všech oborech, od výpočetní techniky po medicínu, od energetiky po komunikační prostředky a od umění po archeologii. Ve fyzice jde v její podstatě vždy o pochopení našeho místa ve vesmíru. To je dojem, který ve mně převládl ve chvíli, kdy jsem poprvé

spatřila noční oblohu novými očima. Cesta do minulosti, na niž se za okamžik vydáme, nám ukáže, že mnoho moderních technologií, které považujeme za samozřejmost, má na svědomí právě experimentální fyzika. To samé platí pro řadu dalších praktických výsledků, které jsme si dříve ani nedokázali představit. Jak se přesvědčíme, každého z nás může fyzika něco naučit. Něco o vlastní zvědavosti a o možnosti každého z nás dosáhnout pokroku, který třeba jednou změní celý svět.



Část 1.

## **Kolaps klasické fyziky**

---

*Předpokladem nových objevů je do značné míry naše představivost. Právě ona proniká do neviditelných světů kolem nás, do světů vědy. Právě ona dokáže vycítit a odhalit to, co je, vše skutečné, co nevidíme a co zůstává našim smyslům skryto.*

– Ada Lovelace, z dopisu lordu Byronovi, leden 1841



# Katodová trubice: rentgenové záření a elektron

---

Náš příběh začíná v jedné laboratoři v německém Würzburgu roku 1895. Nebyla to čistě sterilní bílá místnost, v jakých vědci pracují dnes. Měla krásnou parketovou podlahu a impozantní vysoká okna s výhledem do parku a na vinice na protějším kopci. Fyzik Wilhelm Röntgen se ale své práci věnoval výhradně za zavřenými okenicemi. Na dlouhý dřevěný stůl postavil skleněnou trubici o velikosti menší láhve od vína, z níž předtím vývěvou odčerpal většinu vzduchu.<sup>1</sup> Uvnitř byly dvě kovové elektrody, z nichž vedly dráty ven z láhve – jedna byla na konci trubice (záporná katoda) a druhá zhruba v polovině její délky (kladná anoda). Po připojení k vysokému napětí se mezi nimi objevila barevná záře, takzvané „katodové záření“. To zatím bylo vše podle Röntgenova očekávání. Pak ale koutkem oka zahlédl, že se na opačné straně laboratoře rozsvítilo stínítko.



**Obr. 1:** Crookesova trubice z muzea Wilhelma Conrada Röntgena ve Würzburgu, s níž bylo objeveno rentgenové záření. © Aida/Wikimedia

Přešel k němu, aby to prozkoumal. Ze stínítka potaženého fosforem se linulo zelenkavé světlo. Když katodovou trubici vypnul, světlo se vytratilo. Když ji znovu zapnul, objevilo se opět. Že by ho jen klamal zrak, že by to byl jen odraz záře z trubice? Zakryl ji černým kartonem, ale jak se přesvědčil, světlo ze stínítka nezmizelo. Ačkoli nikdy nic podobného dosud neviděl, mohlo by to být podstatné.

Tato chvíle navždy proměnila fyziku. Počínaje tímto náhodným pozorováním nás experimenty s katodovými trubicemi zavedly na zcela nové teritorium. Začaly rozvracet po tisíciletí zažitě představy o světě přírody. Časem nás dovedly k technologiím, které změnily způsob života, práce i komunikace všech lidí. A začalo to přitom všechno tady, u zvědavého jedince a svítícího stínítka.

\*

Wilhelm Röntgen byl, stejně jako většina vědců po celém světě na konci 19. století, toho názoru, že fyzika jako předmět vědění je už prakticky úplná. Vesmír je stvořen z hmoty, která se skládá z „atomů“, jichž existují, jak bylo známo, rozličné druhy, které odpovídají jednotlivým chemickým prvkům. Od stromů a kovů přes vodu až po kožešiny, celou tu spletitou škálu tvrdostí, barev a struktur hmotného světa kolem lze vysvětlit tím, že byl postaven z různých atomů, které si tehdy představovali asi jako malé kulaté kostičky Lega. Máte-li ten správný návod, můžete vzít určitou sadu a vytvořit z ní cokoli chcete.

Vědělo se také o fyzikálních silách, jejichž prostřednictvím spolu vše navzájem interaguje. Gravitace drží pohromadě hvězdy v naší galaxii a naši planetu na oběžné dráze kolem Slunce. Dokonce i záhadné síly elektřiny a magnetismu už

byly teoreticky nadobro spojeny do síly jediné, elektromagnetické. Vesmír byl nyní předvídatelný a člověk mohl předpovědět pohyb veškeré hmoty v něm, měl-li dost informací o všech jeho vnitřních procesech a za jakých okolností byly uvedeny do chodu.

Zbývalo tak prozkoumat jen details. Například to, jak přesně funguje katodová trubice, což byla jedna z oněch maličkostí, které se zatím zcela objasnit nedařilo. Našly by se k tomu samozřejmě různé teorie, včetně té, že záření uvnitř nějak souvisí s vlněním hypotetického éteru, média, o němž se předpokládalo, že se jím světlo šíří podobně jako zvuk vzduchem. Teď se zdálo, že Röntgen v rámci jejího zkoumání narazil na zásadní komplikaci. Nejenže se něco nevysvětlitelného dělo uvnitř trubice, ale jak právě zjistil, podivné věci probíhaly i vně.

V mládí byl Röntgen docela obyčejné dítě. Syn obchodníka s látkami miloval přírodu, především lesy.<sup>2</sup> Mimořádné nadání projevil snad jen při výrobě mechanických věcí<sup>3</sup> a to se ukázalo jako užitečná schopnost pro jeho pozdější experimentální práci. V dospělosti mu z čela odstávaly tmavé vlasy, „jako by byl elektrizován vlastním neustálým nadšením“.<sup>4</sup>

Byl to plachý muž, který přednášel nesnesitelně tichým hlasem, na své studenty byl přísný, a poněkud se mu přičilo pomýšlení, že by měl mít u sebe v laboratoři nějaké asistenty. Miloval ovšem vědu a čas od času citoval slavného inženýra Wernera von Siemense, jenž jednou řekl, že „intelektuální život nám někdy přináší snad tu nejčistší a největší radost, jakou je lidská bytost schopna pojmout“.

Teď objevil něco, co před ním ještě nikdo neviděl. Když spatřil podivně svítící stínítko, vůbec nepředpokládal, že se dívá na stejný druh „záření“ jako v katodové trubici, neboť

to se zdálo být plně koncentrováno v jejím nitru. Identifikoval jej místo toho jako nový typ neviditelného paprsku, který zřejmě doletí mnohem dále. Okamžitě se začal věnovat podrobnějšímu studiu celého jevu, veškerý svůj čas a energii proto věnoval práci v laboratoři. Když byl později dotázán, co si zpočátku myslel, odpověděl: „Nemyslel jsem, zkoumal jsem.“ Měl několik podobných výbojek,<sup>5</sup> které mohl spolu s fosforovým stínítkem metodicky a důkladně nastavit tak, aby lépe pochopil povahu toho nového záření. Vkládal mezi ně a stínítko různé materiály, vyzkoušel papír, dřevo, a dokonce i ebonit. Paprsky pronikaly prakticky bez jakéhokoli zeslabení vším. Když je namířil do vedlejší místnosti přes tlusté dřevěné dveře, dokázal je detekovat i na druhé straně. Jedině když před ně umístil hliníkovou fólii, průchod byl pro ně jaksi obtížnější.

Strávil ve své laboratoři sedm intenzivních týdnů, přičemž mu jeho žena Anna Bertha občas přišla připomenout, aby se také najedl. Kromě těchto ojedinělých návštěv pracoval téměř úplně sám, o svém bádání nikoho neinformoval. Neřekl to svým asistentům, natožpak svým zahraničním kolegům. Moc dobře totiž věděl, že pokud neoznámí hotový objev jako první, stovky dalších vědců, kteří mají k dispozici podobné vybavení, ho ve výzkumu okamžitě předčí. Zmínil se o tom proto jen jednou, jednomu blízkému příteli, jemuž jednoduše sdělil: „Zjistil jsem něco zajímavého, zatím ale nemám tušení, zda jsou moje pozorování správná.“<sup>6</sup>

Vzápětí do cesty paprskům strčil vlastní ruku. „Když podržím mezi výbojkou a stínítkem ruku, tak jsou v jejím světle šedém stínu vidět i tmavší stíny kostí...“ To mu vniklo nápad. Na fotografickou desku zachytil obraz ruky své manželky Berthy, který jeho domněnky potvrdil. Záření snadno proniká kůží a svalstvem, ale ne už tak kostmi a ještě méně

skrže kovy. Kosti i její snubní prsten se skutečně ukázaly tmavé, zatímco lidské maso vyšlo světlé, ačkoliv je pro oko stejně neprůhledné. Schopnost zastavit tyto nové paprsky nějak očividně souvisela s hustotou objektu. Legenda praví, že když své vlastní kosti spatřila Bertha, vykřikla: „Právě jsem viděla svou vlastní smrt!“, a do manželovy laboratoře už vícekrát nevkročila.

Röntgen chtěl ve svém zápisníku záření nějak pojmenovat. Protože ve vědě se neznámé věci většinou označují písmenem „X“, přišel s pravděpodobně nejlepším bezděčným označením v historii fyziky. Svůj objev nazval „paprsky X“ (X-ray), což je termín, který se pro rentgenové záření v mnoha jazycích užívá dodnes.

Jakmile si byl jist, že dostatečně dobře chápe, jak se jeho záření chová, musel přistoupit k důležitému rozhodnutí. Měl by si ho rovnou nechat patentovat, svoje poznatky publikovat, nebo se ještě věnovat jeho důkladnějšímu studiu? Pořád před ním stála řada nezodpovězených otázek, například jak záření souvisí se světlem a hmotou, z čeho se skládá a jak vlastně vzniká. Usoudil však, že už nemůže déle otálet, neboť šance, že jej objeví i někdo další, byla až příliš vysoká. Pokud by svoje zjištění publikoval před podáním žádosti o patent, nic by nevydělal, kdyby se jeho nápad ukázal nějak užitečný v medicíně. Jenomže Röntgen byl fyzik, nikoli lékař, takže neměl zdání, zda medicí vůbec projeví zájem. Dospěl k tomu, že nejlepší bude objev publikovat a předat ho tak celé lékařské komunitě.

Překonal svůj notorický ostych a 23. ledna 1896 přemístil celou svou těžkou experimentální aparaturu do jedné z poslucháren Würzberské lékařské společnosti, která od jeho laboratoře sídlila co by kamenem dohodil. O objevu se už mezi lidmi něco málo vědělo z novinových článků

a v posluchárně bylo tak narváno, že se muselo stát i v uličkách mezi lavicemi. Röntgen tehdy přednášel o svých pozorováních vůbec poprvé. Demonstroval posluchačům, jak záření prochází dřevem i gumou, nikoli však kovy. Ukázal jim fotografii Berthiny ruky a vylíčil jim svoji představu o praktické aplikaci nahlížení do nitra lidských těl. Aby své sdělení podtrhnul, předvedl nakonec, jak snadno lze podobné obrázky vyrobit.

Vyzval přede všemi prezidenta společnosti, významného anatoma, aby dal k výbojce ruku. Zapnul zařízení a vyhotovil rentgenový snímek. Přítomní lékaři byli zcela ohromeni. Zásadní význam celé věci pochopili okamžitě. Na prezidenta to udělalo takový dojem, že pobídl přihlížející dav, aby Röntgenovi provolal slávu, a shromáždění hned navrhlo, aby paprsky nesly fyzikovo jméno.<sup>7</sup>

\*

Zvěsti o novince se šířily po celém světě jako blesk a vyvolávaly obdiv i strach, byly dokonce inspirací pro básníky. V době, kdy si knihy Julese Verna o cestách do středu Země podmanily představivost široké veřejnosti, přišel zničehonic Röntgen s metodou, jak nahlédnout do lidského těla. Uchytila se přitom i řada zcela mylných představ, jako třeba že rentgenovým zářením je vidět skrze dámské oblečení (o možnosti pohlédnout skrze oblečení pánské se ale nikdo nezmiňoval). Podnikavci pak začali prodávat vůči novým paprskům odolné olověné spodní prádlo, pravděpodobně opět pouze dámské. Hned několik divadel a oper zakázalo „rentgenové brýle“, ačkoli nic takového neexistovalo. Někteří filozofové se také obávali, že rentgenové záření dokáže v člověku odhalit i jeho nejniternější já.



Katodové trubice byly tehdy standardním vybavením laboratoří pro stovky vědců po celém světě. Ti nejprve potvrdili Röntgenova pozorování a hned se jali zužitkovávat jejich potenciál v praxi. Pouhý rok od objevení nových paprsků, tedy v roce 1896, se už uplatňovaly v italsko-etopijské válce při hledání zlomenin kostí a šrapnelů v tělech vojáků zraněných na bojišti. V Královské nemocnici v Glasgow bylo zase zřízeno první radiologické oddělení na světě.

Podnikatelé okamžitě našli mnoho dalších využití i v jiných oblastech veřejných služeb, například takový „pedoskop“, tou dobou velmi populární, zhotovoval snímky chodidel zákazníků, aby si nemuseli zkoušet boty. Jakmile se ale vyrojily důkazy, že rentgenové paprsky mohou kůži nebo lidské tkáně i poškodit (k čemuž se vrátíme později), raději se od toho upustilo. Röntgen sám navrhl jinou průmyslovou aplikaci, když s pomocí paprsků zobrazil kovová závaží uvnitř neprůhledné bedny. Jeho rané „rentgeny“ tak prošlapávaly cestu budoucím bezpečnostním skenerům, které dnes najdete třeba na letištích.

Jelikož svůj objev nepatentoval, aby tím nebránil jeho případnému uplatnění v medicíně, neplynul mu z tohoto rozvoje žádný peněžitý zisk. Moudře přenechal veškerý technologický vývoj lékařským profesím s tím, že sám je příliš zaneprázdněn jiným bádáním. Ochotně však nabízel svou pomoc, kdekoliv to bylo zapotřebí.

Mohlo by se zdát, že Röntgen byl zvláštní člověk, „osamělý génius“, jenž učinil jeden „náhodný objev“ prakticky zničehonic. Koneckonců s ním mohl přijít každý, kdo měl to štěstí a disponoval laboratoří s fosforovým stínítkem. Při bližším pohledu ale zjistíme, že svou roli sehrála řada dalších okolností. Röntgen byl v kontaktu s rozsáhlou sítí odborníků z celého světa a měl za sebou mnoho let průprav a zkušeností,

během kterých v sobě vypěstoval trpělivost a pokoru, jimiž krotil jakékoli unáhlené experimentální vzrušení. Měl dostatečně hluboké znalosti, aby si při pohledu na stínítko uvědomil význam toho, co vidí, a jeho přirozená zvědavost mu velela ve zkoumání pokračovat.

Přes všudypřítomné pozdvižení nicméně stále nikdo netušil, čím paprsky X ve skutečnosti *jsou*. Jak Röntgen ukázal, nechovaly se úplně stejně jako viditelné světlo nebo ultrafialové a infračervené části elektromagnetického spektra. Nebylo vůbec jasné, jak z katodového záření vznikají nebo jak interagují s látkou, například s luminoforem stínítka. Objev vyvolal celou řadu nových otázek, například z čeho se skládá hmota a světlo a jak na sebe vzájemně působí. Vyžadovalo to další a další experimenty, v nichž znovu sehrály jednu z ústředních rolí katodové trubice.

\*

Počátkem roku 1897 se Joseph John („J. J.“) Thomson, ředitel a zakládající člen jedné z nejvýznamnějších fyzikálních laboratoří na světě, pokoušel v Cambridgi v Anglii vyřešit už dvacet let starou záhadu. Nezaměřoval se ale na nové rentgenové záření vycházející z trubice, zajímalo ho totiž složení samotných viditelných katodových paprsků uvnitř zařízení.

Měl o nich jednu nepřilíš přijímanou hypotézu – věřil, že je tvoří proud jakýchsi korpuskulí neboli částic. Dostal se tak do sporu s Röntgenem, který se spolu se svými německými kolegy domníval, že katodové záření je nehmotné, že jde o jednu z forem světla.<sup>8</sup> Thomson tedy vzal elektrony, s nimiž studoval ve své laboratoři elektrinu v plynech, a navrhl s nimi neotřelou sadu pokusů, jejichž cílem bylo odpovědět na otázku „jaká je povaha katodového záření?“.

Thomson, plachý syn manchesterského knihkupce, projevil svůj záměr věnovat se základnímu výzkumu už v jedenácti letech. Není vůbec jasné, kde se v něm tak předčasná touha vzala. V šestnácti mu otec zemřel, ale bohužel za sebou nezanechal žádné peníze, z nichž by šlo financovat Thomsonovo další vzdělávání. Jelikož tehdy žádné stipendium pro studium fyziky získat nešlo, začal studovat matematiku, a to na Trinity College v Cambridgi. Tam tak děsil spolužáky svým tichým smyslem pro humor, chlapeckým úšklebkem, neochvějným intelektem a sebevědomím, až vůči němu někteří cítili nepatřičnou bázeň a úctu.<sup>9</sup>

Už ve věku 27 let byl jmenován profesorem a ředitelem Cavendishovy laboratoře na Cambridgeské univerzitě. Byl menšího vzrůstu, s přerostlým knírkem a černými vlasy s permanentně ulíznutou patkou a nikdy se nijak přehnaně nestaral o svůj vzhled. Jeden z jeho přátel později vzpomínal, jak mu někdy motýlek na krku sklouzl až někam k uchu a Thomson pak chodil po zbytek dne, aniž by to zaregistroval. Jeho osobní život byl vcelku prostý, ale jakmile došlo na úvahy o podstatě hmoty a vesmíru, byl vskutku revolucionář.

Svůj výzkum zahájil tím, že nejprve velice pečlivě zreprodukoval všechna dosavadní pozorování. Chtěl se také ujistit, že od sebe nelze oddělit katodové záření a elektrický náboj, který nese. Ohýbal záření pomocí magnetu a nechal jej dopadat na takzvaný elektroskop, přístroj k detekci náboje. Vycházel mu záporný a až překvapivě velký,<sup>10</sup> čímž potvrdil, že záření je skutečně elektricky nabitě.

Následně experiment zopakoval, přičemž paprsky pro změnu ohýbal v elektrickém poli mezi dvěma deskami pod napětím, které jeho asistent umístil do speciálně zkonstruované vakuové trubice. Pokud je záření tvořeno proudem nabitých částic, mělo by se v tomto případě vychýlit. Je-li to

ale na druhou stranu světlo, pohybovalo by se bez překážek po přímce a napětím by se nevychýlilo vůbec, stejně jako třeba světlo baterky.

Předpokládal, že nižší napětí ohne paprsky méně, vyšší naopak více. Německý fyzik, Heinrich Hertz, objevitel elektromagnetických vln, tento experiment ale provedl už dříve a zjistil, že zatímco vysoké napětí záření opravdu vychyluje, při nízkých napětích se žádný účinek neprojeví. Thomsona dost otrávil, když mu v laboratoři vyšlo úplně totéž. Jako kdyby se katodové paprsky chovaly jako částice pro vysoká napětí a jako světlo pro ta nízká, což byl pro jeho částicovou hypotézu zádrhel.

Udělal s aparaturou několik testů, aby lépe porozuměl tomu, co vidí. Nejdříve napustil trubici jiným plynem, ale výsledek se nijak nezměnil. Pak trubici ještě o něco víc odčerpal, aby uvnitř dosáhl menšího tlaku a vyššího stupně vakua. A hle, najednou spatřil drobné odchylky i s nízkým napětím a s vysokým větší, přesně podle očekávání. Pro jistotu připustil trochu plynu zpět a odchylky zase zmizely. Vtip je v tom, že malé množství plynu, které v trubici zůstává, se elektricky nabíjí. Může tak vyrušit nízká vnější napětí, vysoká už ale ne. Katodové záření v důsledku toho v přítomnosti plynu na nízká napětí jednoduše nijak nereaguje. A přesně to stálo za původním Hertzovým výsledkem a počáteční Thomsonovou frustrací. Jak posléze napsal do svých pamětí: „Dokud není zcela bezpečně zvládnuta technika, jak zacházet s jednotlivými experimentálními přístroji, může s nimi měření dopadnout jeden den zcela protichůdně než den následující, což jen ilustruje pravdivost rčení, že neměnnost přírody není jedním z těch zákonů, na které by se přišlo zrovna ve fyzikální laboratoři.“<sup>11</sup>

Z nasbíraných dat dospěl k závěru, že „dráha paprsků nijak nezávisí na použitém plynu“. <sup>12</sup> Jinými slovy, nic z toho, co studoval, není ovlivněno tím, jaký plyn se nachází v katodové trubici. Zařízení tak nemůže být ani proudem nabitých molekul plynu samotného, jak tvrdili někteří. Ve skutečnosti muselo jít o něco daleko fundamentálnějšího. Takové zjištění jej přimělo zformulovat klíčovou hypotézu: všechna pozorování by do puntíku seděla, pokud by se jednalo o záporně nabitě částice.

Zbývalo tedy už jen zjistit, o jaký *druh* částic se jedná. Atomy, molekuly, nebo něco jiného? K určení jejich náboje  $e$ , hmotnosti  $m$ , a zvláště poměru  $e/m$ , šikovně využil vlastností elektrického a magnetického pole. Poměr mu vyšel daleko větší, než předvídal. Zvláštní bylo, že neodpovídal žádnému z dosud známých atomů nebo molekul, což byly podle tehdejšího přesvědčení nejmenší stavební kameny hmoty. Thomsona napadla dvě možná vysvětlení. Buď jsou částice „těžké“ jako atomy, ale jejich náboj je extrémně velký a záporný, nebo jsou naopak velmi lehké a mají standardní jednotkový elementární náboj. Nicméně ani jedna varianta nebyla příliš atraktivní. Kdyby to byly silně nabitě atomy, musel by se přehodnotit koncept elektrického náboje jako takového. Na druhou stranu, kdyby byly částice lehoučké, znamenalo by to, že atom není nedělitelnou základní částicí.

Thomson přenastavil snad každou proměnnou, na kterou si vzpomněl. Vystřídal v trubici rozličné plyny, vyzkoušel různé kovy jako elektrody a proměňoval také úroveň vakua. Všechny verze pokusu vždy vygenerovaly stejnou hodnotu poměru náboje a hmotnosti. Ve svých úvahách o povaze těchto nových částic se spoléhal na znalosti chemie, astronomie a pozorování světelného spektra hvězd, a také

na znalosti o konfiguracích magnetů a magnetických polí. Hypotézu silně nabitých atomů proto postupně zavrhl jako nepravděpodobnou a byl připraven své závěry zveřejnit.

V pátek 30. dubna 1897, asi rok poté, co svůj objev oznámil Röntgen, předstoupil Thomson, oděn pro jednu ve společenském obleku, před zaplněný sál Královského institutu v Londýně, aby v rámci takzvané Páteční přednášky sérii svých experimentů zopakoval. Tato veřejná setkání přitahovala každý pátek večer davy dobře situovaných Londýňanů,<sup>13</sup> neboť vědecký pokrok byl tou dobou považován za jakousi formu kulturního programu. Jeho představení vyvrcholilo prohlášením, že katodové záření je skutečně proudem záporně nabitých částic, jež jsou podle něj asi 2 000krát lehčí než nejlehčí atom vodíku. Thomson právě objevil elektron, úplně první *sub*-atomární částici.<sup>14</sup>

Byl to triumf intelektu. Thomson se ponořil do záhad katodového záření a nakonec přišel s úplně novým pohledem na povahu hmoty. A navíc v říjnu téhož roku učinil ještě zásadnějším průlom. Nejenže je záření tvořeno proudem elektronů, ale i ony samotné jsou do té doby nepoznanou stavební složkou hmoty, což citelně otřásl představou atomu jako její nejmenší a nedělitelné entity. Nebylo mu sice zatím jasné, kde se elektrony berou, byl si ale jistý, že to musí být odněkud zevnitř atomů. Thomsonovi museli dát vzhledem k evidentním důkazům za pravdu i Röntgen a jeho němečtí kolegové. Mimochodem, oba dva, jak Röntgen, tak Thomson, použili stejné zařízení, aby odhalili dva různé a zcela skryté aspekty přírody.

Díky nim si teď můžeme vysvětlit, co se vlastně uvnitř trubice děje. Vysoké napětí mezi elektrodami emituje z katody elektrony, které jsou silně přitahovány ke kladně nabitě anodě. Některé ale nevletí do ní, jen prosvítí kolem a ve

vysoké rychlosti narazí do skleněných stěn nebo do molekul plynu, přičemž energie, kterou jim takto předají, se promění ve viditelné světlo, září, jež vědce mátlá několik desítek let. Procesu se říká „brzdné záření“ podle toho, že jsou elektrony materiálem „brzděny“. Ztratí-li přitom dostatečné množství energie, může vzniknout i rentgenové záření (tedy vysokoenergetická verze světla), které proniká třeba i rukou nebo jinou částí lidského těla.

\*

Na rozdíl od Röntgenova objevu nebylo u Thomsonova zprvu úplně jasné, k čemu by mohl být užitečný. On sám otevřeně pochyboval, že by tak malé a bezvýznamné cosi jako elektron mohlo být někdy zajímavé i z jiného než z čistě fyzikálního hlediska. Zkraje roku 1900 byl také během výročního večírku Cavendishovy laboratoře, kde částici objevil, pronesen potouchlý přípitek: „Na elektron, ať dál není nikomu k ničemu!“<sup>15</sup> Nicméně neuběhlo ani dvacet let a Thomson přednesl v Královském institutu další Páteční přednášku, tentokrát na téma „Průmyslové aplikace elektronů“. S odstupem času moc dobře víme, že to všechno bylo základem budoucího oboru elektroniky.

Jak to? Na první pohled je to samozřejmé, protože, jak už sám název napovídá, elektronika vychází z pohybu elektronů. Měl s ní ale něco společného už Thomson? Byl pro elektroniku jeho výzkum nějak zapotřebí, nebo by sama vznikla i tak? Abychom lépe pochopili vztah mezi Thomsonovou zvědavostí a pozdější elektronickou revolucí, musíme si jeho práci zasadit do širšího kontextu.

\*

Ve Vědeckém muzeu v Londýně je stálá expozice nazvaná „Co formovalo moderní svět“. V malé, nenápadné vitrině uprostřed chodby tam stojí několik skleněných předmětů opatřených stručnými popiskami. Jeden z nich je originální katodová trubice J. J. Thomsona, s níž objevil elektron. Hned vedle ní pak stojí stará žárovka a na druhé straně další dvě podivné baňky, takzvané Flemingovy elektronky neboli diody, které vypadají podobně, jen mají na spodní straně tři kolíkové nožičky. Těchto pár exponátů je miniaturní historií rané elektroniky.

Nedaleko se pak nachází výstavka věnovaná dalšímu známému vynálezci, Thomasi Edisonovi. Okolo roku 1880, kdy badatelé jako Thomson zkoumali ve svých laboratořích katodové trubice, přišli Edison a jeho asistenti s podobnou technologií při pokusech s elektrickým osvětlením. Edisonovi bylo tehdy třiadvacet let, o devět let více než Thomsonovi, a ve svém přístupu k výzkumu se velmi odlišoval od experimentálních vědců. Měl totiž zcela jinou motivaci, a sice vydělat na svých vynálezech co nejvíce peněz. Namísto podrobného zkoumání fyzikální podstaty žárovky prostě a jednoduše Edisonův tým při její výrobě vyzkoušel metodu pokus-omyl co nejvíce různých materiálů a vzájemných uspořádání. Většina žhavicích vláken se okamžitě přepálila, ale jeden z členů jeho týmu, inženýr černošského původu Lewis Latimer, přišel na to, že když použijí uhlíkové vlákno, vydrží svítit až patnáct hodin.<sup>16</sup>

Mělo to ale jednu vadu, povrch skleněné baňky totiž rychle začal černat, jako by se částičky uhlíku přenášely z vlákna na sklo. Černal, i když uvnitř zvýšili podtlak. Dnes už víme, že je to kvůli odpařování vlákna, Edison to ale tehdy netušil. Problém se pokusil vyřešit tak, že do žárovky přidal další elektrodu, která měla odlétávající uhlík zachytit. Náhodou



u toho zjistil, že elektrodou začal procházet proud, ovšem vždy pouze jedním směrem. Proti zčernání to sice nepomohlo, ale zařízení se teď chovalo jako elektrický usměrňovač, podobně jako když vodovodním kohoutem regulujeme tok vody. Nazval to „Edisonův efekt“. Vůbec ho nezajímalo, jak k usměrňování dochází, stačilo mu, že to tak je. Nechal si patentovat „žárovku s Edisonovým efektem“ a dál se věci odmítl zabývat, protože pro ni neměl konkrétního využití. Pokračoval ve vývoji klasických žárovek, přičemž životnost uhlíkových vláken postupným vylepšováním prodloužil až na 600 hodin, což bylo konečně komerčně využitelné. Když se ho později někdo zeptal, jak „žárovka s Edisonovým efektem“ funguje, odpovídal, že nemá čas se věnovat takovým „estetickým“ detailům své tvorby.<sup>17</sup>

Na estetiku, tedy na skrytý princip celého jevu, měl ale čas J. J. Thomson. Už dva roky po objevu elektronů, v roce 1899, ukázal, že jsou emitovány i žhavicím vláknem žárovky – úplně stejně jako v katodové trubici. Zahříváním vlákna způsobem, jakým to dělal Edison, z něj vyskakují elektrony. Dnes tento fyzikální proces nazýváme „termoemise“. Je poměrně odlišný od pouhého odpařování vlákna a je také klíčový pro pochopení Edisonova jevu. Jeho zdánlivě zbytečný vynález proto zůstal přes dvě desetiletí zcela bez povšimnutí, dokud Thomson neodhalil, jak vlastně přídavná elektroda reguluje tok elektrického proudu. Když je nabita kladně, přitahuje elektrony nacházející se ve vakuu žárovky, čímž dojde k uzavření elektrického obvodu. Je-li však nabita záporně, naopak elektrony odpuzuje a žádný proud neprochází. S tímto vysvětlením si už Edisonův „ventil“ snadno našel uplatnění v překotně se rozvíjejícím světě.

Naše vyprávění pokračuje roku 1904 u jednoho konzultanta Marconiho telegrafní společnosti, která vyvíjela rádia

a jiné bezdrátové telekomunikační prostředky. Britský fyzik John Ambrose Fleming potřeboval převést slabý střídavý proud na stejnosměrný, neboť chtěl použít telefon jako radiopřijímač.<sup>18</sup> S Edisonovým efektem se setkal už dříve, v roce 1889, když pracoval jako poradce pro Edison and Swan United Electric Light Company,<sup>19</sup> a hned si uvědomil, že přesně takový ventil by se mu hodil. I nepatrný elektromagnetický signál z radiovysílače by mohl stačit k tomu, aby ventil otevřel, či zavřel. V jednu chvíli mu to celé v hlavě zapadlo do sebe, jak později napsal: „Ke své radosti jsem [...] zjistil, že řešením je právě takhle podivná elektrická lampa...“

Své znalosti katodových trubic zkombinoval se žárovkou a vynalezl tak „termionickou elektronku“ neboli „Flemingovu diodu“, první *elektronickou* součástku vůbec. Zatímco v *elektrických* zařízeních elektrony vždy tekly vodičem, v těch *elektronických* se pohybovaly i ve vakuu a bylo je tak možno rychle a snadno ovládat i bez mechanických přepínačů. Flemingova dioda tak rozpoutala technologickou revoluci. O několik let později do ní jistý americký vynálezce přidal ještě třetí elektrodu a už v roce 1911 se tato „trioda“<sup>20</sup> začala používat jako zesilovač. Proud elektronů mohl najednou sloužit i jako oscilátor, modulátor elektrických signálů a mnoho dalšího. Aplikace elektronických zařízení posléze vedla k dálkovému přenosu rádiových vln, telekomunikaci, radaru a první počítačům. A zrodil se též elektronický průmysl.

\*

Pro celý příběh jsou zásadní dva diametrálně odlišné přístupy k věci, u kterých je dobré se na chvíli zastavit. Na jedné straně byla zřejmě Thomsonova neutuchající zvědavost klíčovou vlastností, která přinesla pochopení všeho okolo

katodových trubic, ačkoli jeho cílem nikdy nebylo nic jiného než jen shromážďovat relevantní poznatky. Na druhé straně, Edisonova metoda pokus-omyl sice vedla k podnikatelskému úspěchu, rozhodně však neobjasnila, proč se věci chovají tak, jak se chovají. Oba přístupy skloubil v jistém smyslu až Fleming, a vytvořil tak důmyslnou technologii. Každý z nich hrál nepochybně svou nezastupitelnou úlohu při vzniku nového průmyslového odvětví – elektroniky, ale nepovedlo by se to, kdyby na počátku nebylo několika vědců, kteří jen tak experimentovali s katodovými trubicemi bez podnikatelských záměrů.

Znalosti nabyté pomocí vědecké metody mají, na rozdíl od vývoje produktů metodou pokus-omyl, tendenci se postupně kumulovat. V průběhu času tak velice rychle nabývají na užitečnosti, což se ukázalo jak v případě elektronu, tak i v případě rentgenového záření (jelikož je mezi nimi blízká souvislost). Elektronický průmysl po svém zrodu dokázal vyrábět speciálně navržené trubice pro rentgenové záření, takzvané rentgenky, které se na trhu velmi dobře uchytily pro své široké lékařské i technické využití. Několik jich najdeme i v londýnském Vědeckém muzeu, hned vedle katodové trubice J. J. Thomsona a prvních Flemingových diod.

\*

Pokračování příběhu paprsků X pak najdeme v tom samém muzeu jen o několik kroků dále v podobě velkého lékařského přístroje, výpočetního tomografu čili CT (computed tomography), jehož vznik umožnil zrod elektroniky a objev rentgenového záření a který denně zachraňuje mnoho lidských životů.

Do počátku 70. let 20. století se v případě nutnosti vyšetření mozku pacienta prováděla takzvaná „pneumoencefalografie“. Při ní se přímo do páteře nebo lebky vyvrtal otvor a odebrala se velká část mozkomíšního moku. Místo něj se mu pak do mozku napumpoval vzduch nebo helium, čímž mezi mozkiem a lebkou vznikla bublina. Pacient byl připoután k sedačce, která se otáčela všemi směry, a lékaři jej nastavovali do různých poloh, i hlavou dolů či na bok, aby mu bublina putovala páteří a mozkiem, zatímco pořizovali jeho rentgenové snímky. Již tak dost nemocný člověk musel u vyšetření snášet silnou bolest hlavy a nevolnost, neboť během pneumoencefalografie ani nebyl uspán. A to vše jen proto, aby byly snímky dostatečně kontrastní a bylo tak možné rozeznat rozdíly mezi mozkiem a mozkomíšním mokem (v tu chvíli převážně odebraným). Pacient po takovém mučení mohl jen doufat, že se lékařům na snímcích podaří identifikovat drobné mozkové léze nebo výrůstky. Procedura to byla brutální, ovšem od roku 1919 až do 70. let téhož století jediná možná.

S rentgenem šlo tehdy pořizovat jen dvourozměrné fotografie. Představíme-li si tělo jako krabici plnou tekutiny a několika pevnějších předmětů (kosti, orgány a svaly), je samozřejmě prakticky nemožné pomocí rentgenu spatřit něco ležícího uprostřed, neboť by ve výhledu zaclánělo všechno, co leží před tím či za tím. A pro lékaře je těžké porozumět trojrozměrným strukturám zobrazeným dvojrozměrně. Chtělo to proto nějakou inovaci, takovou, jež by opravdu zobrazovala trojrozměrně.

Godfrey Hounsfield, zaměstnanec velké britské korporace EMI zabývající se i elektronikou a podobným vybavením, v 60. letech 20. století zkoumal možnosti uplatnění počítačů a přišel na nový způsob, jak je využít ke zdokonalení

lékařského rentgenu. Napadlo ho otáčet zdroj i detektor okolo pacienta a sadu snímků pak digitálně zrekonstruovat. Tak bylo konečně možné vytvořit plný 3D obraz vnitřku lidského těla. Nazval to počítačovou tomografií, tedy CT.<sup>21</sup>

Nejprve sestrojil experimentální prototyp skeneru a zkoušel ho na kravských mozcích pořízených na jatkách.<sup>22</sup> S typickou britskou zdrženlivostí v jednom rozhovoru popisoval, jaká to byla „pěkná dřina nosit [mozky] v papírových pytlích přes Londýn až do laboratoře“.<sup>23</sup>

Už první výsledky ukázaly překvapivě přesvědčivě plný 3D obraz vnitřku organických tkání. CT dokázalo rozlišit dokonce i tak jemné detaily, jejichž zachycení původně nepovažoval za proveditelné ani Röntgen, neboť na jeho snímcích byly tkáně vždycky průhledné. Spojením mnoha snímků byly ale najednou jasně viditelné. Bylo k tomu třeba dostatečného výpočetního výkonu, rotující aparatury a trochy chytré matematiky, ale fungovalo to. Skener byl roku 1971 přesunut k dalšímu testování do londýnské nemocnice Atkinsona Morleyho. Sestával ze speciálně navrženého pohyblivého lůžka, na kterém pacient ležel s hlavou v kruhovém tunelu, v němž bylo celé zařízení uloženo. V podstatě se nijak významně nelišil od své dnešní podoby.

Jako první s ním byla roku 1971 vyšetřena žena s podezřením na nádor v levém čelním laloku. CT sken jej úspěšně identifikoval, lékaři jej vyoperovali a pacientka se posléze uzdravila. Hounsfield a jeho tým tak mohli začít „radostí jásat jako fotbalisté, kteří právě vstřelili vítěznou branku“.<sup>24</sup> Konečně bylo možné docenit důsledky jejich práce, neboť vynález prakticky eliminoval utrpení, jež doprovázelo tradiční rentgenování lebky.

Hounsfield se ale nezastavil jen u skeneru mozku, který světu představil hned v říjnu 1972. Rozhodl se postavit

přístroj, který by zobrazil i zbytek lidského těla. První CT přístroje byly v amerických nemocnicích zprovozněny ještě roku 1973 a do konce 70. let bylo na celém světě provedeno více než 3 miliony CT vyšetření. Postupem času natolik zvesedněla, že do roku 2005 se jich provádělo 68 milionů ročně.

Od té doby se objevilo mnoho chytrých vylepšení, jež umožnila zobrazovat výsledky v reálném čase, propojení s jinými zobrazovacími metodami (o nichž uslyšíme později), nebo využívání CT jako přednostního nástroje na pohotovosti. Zatímco v 70. letech pořízení snímku trvalo i půl hodiny, moderní přístroje to zvládnou za zlomek sekundy. V současnosti dokonce existují CT, která lékaři používají pro trojrozměrnou navigaci srdcem při zavádění stentů, čímž se výrazně zvyšuje úspěšnost tohoto zákroku. Vnitřní struktury získané pomocí CT lze také vytisknout na 3D tiskárně, což opět napomáhá lepšímu pochopení toho, co se děje uvnitř pacienta, když pro něj plánujete operaci nebo navrhujete implantáty, a to vše bez jediného řezu. Technologie a možnosti se neustále zdokonalují, přičemž vývoj se soustředí zejména na rychlost skenování, snížení dávky záření, jíž je člověk vystaven, a větší podrobnost pořízených 3D snímků.

Cesta od objevu rentgenového záření ke vzniku moderních výpočetních tomografů trvala více než 70 let. A aby vůbec došla do svého cíle, bylo zapotřebí mnoha vynálezů, nových matematických technik a rozvoje počítačů. Rentgen přitom dnes najdeme v té či oné formě prakticky v každé nemocnici na světě. Kdybychom se zeptali lékařů na konci 19. století, co by jim pomohlo prohloubit obecné znalosti o lidském těle, možná by si řekli jen o lepší skalpel. Ale snaha Röntgena a Thomsona porozumět zdánlivě obskurní části fyziky nakonec poskytla medicíně úplně *nový* revoluční nástroj, jež pak Hounsfield a další dovedli k dokonalosti.

Rentgen se samozřejmě nepoužívá jen v medicíně. Jakmile se zaměříte na jeho různé aplikace, zjistíte, že se používá skoro všude. Až budete příště na letišti, všimněte si rentgenů na skenování zavazadel – i ty mají svůj původ v laboratoři ve Würzburgu. Kromě bezpečnosti se na rentgenové paprsky spoléhá také většina výrobního průmyslu a strojírenství. Společnosti vyrábějící cokoli od ropovodů přes letadla, mosty až třeba ke schodištím používají rentgen ke kontrole kvality svých výrobků. Okamžitě se tak zjistí, není-li někde trhlina nebo vzduchová bublina, stejně jako v původních Röntgenových experimentech. O tomto „nedestruktivním testování“ neboli „defektoskopii“ sice povětšinou nevíme, je ale důvodem, proč nám jen zřídkakdy praskne potrubí nebo se zřítí letadlo. Defektoskopie jako průmyslové odvětví neustále roste a má obrat v desítkách miliard dolarů. Rentgenová zařízení představují asi 30 % tohoto trhu.

\*

Elektronice trvalo 50 let a rentgenovým paprskům skoro století, než plně prokázaly svůj potenciál. Ale tato kapitola je jen střípkem celého příběhu těchto objevů, který se táhne přes několik staletí postupného shromažďování znalostí a technologií. Začal prvním uměle vytvořeným vakuem Evangelisty Torricelliho v roce 1643 a první vývěvou Otty von Geurickeho z roku 1654. K výrobě tak přesného a křehkého přístroje s dobrým těsněním, jakým je katodová trubice, je zapotřebí zkušených sklářů. Také musíte mít generátor dostatečně vysokého napětí, které je schopné vytrhávat elektrony z kovových katod. Celý proces trval několik generací, jakkoli to třeba vypadá, že k vědeckému průlomů pak došlo během okamžiku.

Je zkrátka úžasné, jak pokusy s katodovými trubicemi z let 1895 a 1897 rozšířily naše vědomosti o elektromagnetickém spektru, rozmetaly představu o atomech jako nejmenších složkách přírody a vedly k objevu první subatomární částice. Kdyby měl tehdy někdo odhadnout budoucí přínos těchto experimentů, tak by zcela jasně nedokázal ocenit dopad, který mají na naše porozumění fyzice. Při hodnocení jejich vlivu na celou společnost by se zmýlil ještě více.

Dalším společným rysem Röntgenových a Thomsonových objevů je fakt, že okamžitě našly široké uplatnění. Oba se během pouhých desetiletí staly nedílnou součástí pokroku v elektronice a v diagnostickém vybavení pro medicínu. Základní koncepty, na nichž tyto technologie stojí, přitom nevznikly s komerčním záměrem. Jsou dílem všetečných jedinců, kteří dnem a nocí experimentovali ve snaze dále prohloubit naše dosavadní znalosti. Mnoho lidí si dnes pojem „katodová trubice“ spojuje především se starými televizory s vakuovou obrazovkou, jde tu ale o mnohem, mnohem víc. Symbolizuje sílu, s níž výzkum motivovaný čistou zvědavostí vede k převratným inovacím.

Pokusy s katodovými trubicemi vyvrátily dosavadní představu o tom, že fyzika je téměř úplná. Se zrodem takzvané *subatomární fyziky* se vědcům otevřel zcela nový pohled na svět. A byl to hned jeden z Thomsonových studentů, kdo přispěchal s dalším klíčovým experimentem, když se fyzika začala ptát: „Co se ještě v atomu skrývá?“



## Experiment se zlatou fólií: struktura atomu

---

Ernest Rutherford bydlel v Montrealu teprve několik měsíců, když obdržel pozvánku do debaty místní Fyzikální společnosti. Psal se rok 1900 a téma bylo „tělesa menší než atom“. Rutherford pozvání nadšeně přijal a napsal svému někdejšímu školiteli J. J. Thomsonovi, že by v ní chtěl znemožnit svého profesního soka Fredericka Soddyho, o šest let mladšího chemika vystudovaného na Oxfordu. Soddyho vždy zajímaly problémy na pomezí fyziky a chemie, ale Rutherford se zanedlouho stal v jeho očích tím, kdo otrásl samotnými základy chemie.<sup>1</sup> Jejich diskuse odstartovala jednu z nejúžasnějších sérií objevů, která přiměla nejen vědce, ale i umělce, filozofy a historiky k tomu, aby zcela přehodnotili své zatvrzelé předpoklady, s nimiž přistupovali k okolnímu světu.

Nejprve se ujal slova Soddy. Byl to vysoký, seriózně vyhlížející blondák s modrýma očima. Narodil se v jižní Anglii jako nejmladší ze sedmi bratrů. Jako školák překonával vadu řeči a svůj dětský pokoj proměnil v chemickou laboratoř, kde při svých pokusech několikrát málem zapálil celý dům. Důsledně vyznával dvě hodnoty: pravdu a krásu.<sup>2</sup>

Na debatu přišel jako obhájce atomu. Zastával názor, že Thomsonův elektron musí být něco jiného než „hmota“, jak ji zná on sám a jeho kolegové. „Chemie neztratí svou víru a úctu k atomům jakožto doposud konkrétním a trvalým entitám, ne-li snad neměnným, tak rozhodně dosud nepřeměněným,“