

KAPITOLA 2

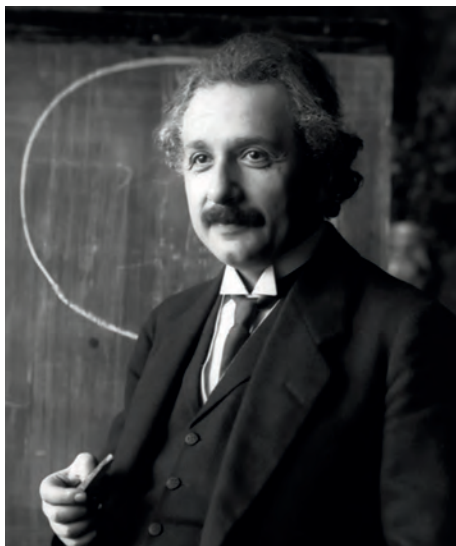
ENERGIE Z HMOTY

2.1 EINSTEINOVA TEORIE

Co je energie, je každému jasné. Vyskytuje se v mnoha různých formách, včetně elektřiny, světla, tepla, chemické energie či energie pohybové (neboli *kinetické*). Důležitým vědeckým objevem 19. století byl *zákon zachování energie*, tedy že energii můžeme měnit z jedné formy na druhou, ale celkové množství musí zůstat stejné. Známou veličinou je také hmotnost, jíž se v běžném životě říká, poněkud nepřesně, váha. Na povrchu Země jsou hmotnost a váha často považovány za totožné kategorie a používají stejné jednotky – něco, co váží jeden kilogram, má současně hmotnost jednoho kilogramu – ale přesně řečeno je *váha* měřítkem síly, kterou na hmotu působí gravitace Země.⁴ Libovolný objekt má vždy stejnou hmotnost, dokonce i když ve stavu beztlíže nic neváží. Hmotnost se stejně jako energie zachovává.

Mimobřádnou myšlenku ekvivalence hmotnosti a energie vyslovil Albert Einstein (obr. 2.1) ve stručném třístránkovém článku publikovaném v roce 1905. Tehdy byl mladým mužem, kterého ve vědeckém světě nikdo neznal. Jeho článek o ekvivalenci hmotnosti a energie následoval brzy po třech předchozích studiích – o fotoelektrickém jevu, Brownově pohybu a speciální teorii relativity – všechny publikoval ve stejném roce. Deset let předtím objevil Henri Becquerel radioaktivitu. Pomocí jednoduchých rovnic a za použití zákona zachování energie a hybnosti Einstein doložil, že atom po radioaktivním přechodu, kdy uvolní energii ve formě záření, musí mít menší hmotnost, než měl do té doby. Z této analýzy odvodil: „Pokud těleso odevzdá energii E ve formě záření, jeho hmotnost se zmenší o E/c^2 .“ Pak pokračoval: „Není

⁴ Zatímco hmotnost je mírou setrvačnosti hmoty. Na rozdíl od češtiny je v mluvené angličtině termín *mass* pro hmotnost běžnější než označení *matter* pro hmotu – v překladech tyto pojmy často splývají (pozn. překl.).



Obrázek 2.1

Fotografie Alberta Einsteina z roku 1921 – právě tehdy obdržel Nobelovu cenu za fyziku. Když věhlasný fyzik (1879–1955) ukončil v roce 1901 studium, usiloval o místo v akademické sféře, ale bez úspěchu. Nakonec získal zaměstnání technického znalce třetí třídy ve švýcarském patentovém úřadu v Bernu, a tudíž se výzkumu mohl věnovat pouze ve svém volném čase.

vyloučené, že se podaří tuto teorii ověřit pomocí těles, jejichž obsah energie se mění značnou měrou (například radioaktivní soli).“

Einsteinova dedukce se běžně zapisuje jako $E = mc^2$ a je pravděpodobně nejznámější rovnicí fyziky. Z rovnice vyplývá, že hmotnost je jen jinou formou energie a že energie se rovná hmotnosti vynásobené druhou mocninou rychlosti světla. Ačkoli trvalo dost dlouho, než byla čistě teoretická dedukce experimentálně dokázána, nyní už víme, že je jedním z největších objevů vědy.

2.2 STAVÍ SE DŮM

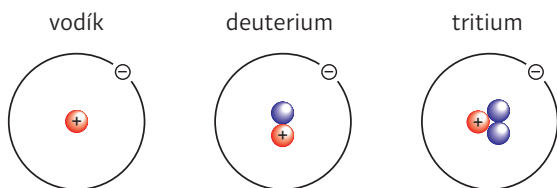
Abychom poznali, jak Einsteinova teorie napomohla konceptu fúzní energie, musíme se vrátit do poloviny 19. století. Jak se

rozvíjela věda o chemii, bylo stále jasnější, že veškerý svět sestává z relativně malého počtu základních komponent nazývaných *prvky*. Tehdy jich bylo známo kolem 50, zatímco v současnosti jich poznáme kolem 100. Jak poznatků o různých prvcích přibývalo, začalo být zřejmé, že vytvářejí skupiny s podobnými vlastnostmi. Nicméně stále nebylo jasné, jak spolu souvisejí – až do okamžiku, kdy ruský chemik Dmitrij Mendělejev sestavil a v roce 1869 publikoval *periodickou tabulku*. Obsahovala prvky, které byly uspořádány v řadách od těch nejlehčích, jako je vodík na horním řádku, až po nejtěžší na řádku dolním. Prvky s podobnými chemickými vlastnostmi umístil pod sebou ve svislých sloupcích. Tabulka nebyla bez chyb, jednak v důsledku nepřesností v té době známých údajů a jednak proto, že některé prvky nebyly ještě objeveny. Mezery v údajích Mendělejevovy tabulky však podnítily bádání, a tím i objevy nových prvků.

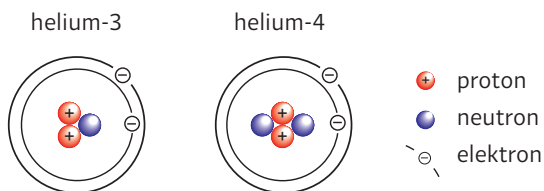
Každý prvek se skládá z jednotek zvaných *atomy*. Ernest Rutherford v roce 1911 zjistil, že atomy obsahují těžkou část neboli *jádro*, které má kladný elektrický náboj. Jádro obklopuje oblak lehčích částic nazývaných *elektrony* se záporným elektrickým nábojem. Záporné elektrické náboje elektronů a kladný náboj jádra jsou v rovnováze, takže atom jako celek je elektricky neutrální. Počet kladných nábojů a elektronů se prvek od prvku liší a určuje jeho chemické vlastnosti a také umístění v Mendělejevově tabulce. Vodík je nejjednodušší prvek s jedním elektronem v každém atomu; následuje helium se dvěma elektrony; lithium se třemi a tak dále až po uran, který má 92 elektronů a je nejtěžším přirozeně se vyskytujícím prvkem. Schematický náčrt atomů vodíku a helia je znázorněn na obr. 2.2.

Pro měření průměrné hmotnosti atomů každého prvku – *atomové hmotnosti* (také se říká *atomová váha*) – chemici objevili šikovnou techniku. Množství prvků, které bylo nalezeno, mělo atomovou hmotnost blízkou celistvému násobku atomové hmotnosti vodíku a z toho vyplývalo, že by vodík mohl nějak, tehdy se ovšem ještě nevědělo jak, tvořit základ těžších prvků. Podívejme se na některé známé příklady: atomová hmotnost uhlíku je přibližně dvanáctinásobkem atomové hmotnosti vodíku a atomová hmotnost kyslíku je jejím šestnáctinásobkem. Řada

izotopy vodíku



izotopy helia



Obrázek 2.2

Struktura různých atomů vodíku a helia. Atomy se stejným počtem protonů a různým počtem neutronů se nazývají izotopy téhož prvku.

případů lákavé myšlenky vyhovovala, ale vyskytly se i výjimky. Například opakovaná měření atomové hmotnosti chloru stále udávala hodnotu 35,5násobku atomové hmotnosti vodíku.

Dalším důležitým krokem bylo přímé měření hmotností jednotlivých atomů. Zasloužil se o ně Francis Aston (obr. 2.3), jemuž se podařilo během let 1918–1920 na univerzitě v Cambridgi ve Spojeném království sestavit zařízení (rámeček 2.1), které náročný úkol zvládlo. Při studiu chemie v Birminghamu se Aston zabýval průchodem elektrického proudu plyny při nízkém tlaku pomocí výbojových trubíc. V roce 1910 ho J. J. Thomson pozval k sobě do Cavendishovy laboratoře, protože studoval kladné paprsky a také používal výbojové trubice. Aston mu pomohl se stavbou aparatury pro měření poměru hmotnosti a náboje kladných částic výboje. Po první světové válce se Aston vrátil do Cambridge a začal měřit hmotnost atomů novou metodou, která výpočty v Thomsonových aparaturách významně zlepšila.