



Prevzaté z [https://sk.wikipedia.org/wiki/Jadrová\\_elektrárneň](https://sk.wikipedia.org/wiki/Jadrová_elektrárneň)

### *Jadrové elektrárne na Slovensku*

Na Slovensku sú v prevádzke dve atómové elektrárne, v ktorých sú v komerčnej prevádzke 4 reaktory s celkovým výkonom 1872 MW. Sú to:

- **Atómová elektrárneň v Jaslovských Bohuniciach: A1 ťažkovodný reaktor KS-150** vyvinutý v ČSSR, prírodný urán, chladenie oxidom uhličitým, výstavba od r. 1958, **prevádzka 1974-1977** (havária-bola odstavená); **V1 – tlakovodné reaktory sovietskej výroby VVER440/V230**, 2 bloky, spustené do prevádzky v roku 1978 a 1980. V elektrárni V1 sa od uvedenia do prevádzky v roku 1978 uskutočnilo viac ako tisíc technických úprav. Medzinárodne akceptovateľnú úroveň bezpečnosti dosiahla JE V1 ukončením rekonštrukčných prác v roku 2000. Všetky medzinárodné hodnotenia preukázali, že bezpečnosť JE V1 sa výrazným spôsobom zvýšila. Slovensko sa však zaviazalo v roku 1999 odstaviť V1 v dohodách o vstupe do Európskej únie. Oba bloky boli pripojené do prenosovej sústavy vlastnou rozvodňou 220kV vedeniami V074 a V075 do rozvodne 220 kV Križovany. Vyradenie oboch blokov bolo prijaté uznesením Uznesením vlády SR č. 801/1999 zo dňa 14. septembra 1999. Prvý blok bol odstavený ku koncu roku 2006, druhý do konca roku 2008.<sup>[12]</sup>

V priebehu výstavby V1 sa rozhodlo o výstavbe **jadrovej elektrárne V2**, teda tretieho a štvrtého bloku elektrárne, podľa sovietskej koncepcie VVER 440/V213. Ako palivo sa používa **obohatený urán**. V súlade s celosvetovým trendom zvyšovania úrovne jadrovej bezpečnosti však bola prijatá a začala sa budovať nová koncepcia JE V2 v roku 1976. Bloky boli uvedené do prevádzky v rokoch **1984 až 1985**.

- Atómové elektrárne v Mochovciach (EMO) sú jadrové elektrárne, ktoré ležia na mieste rovnomennej bývalej obce Mochovce medzi mestami Nitra a Levice neďaleko mesta Vráble. Elektrárne prevádzkujú dva jadrové tlakovodné reaktory typu VVER 440/213, pričom v lokalite sú ešte ďalšie dva rozostavané bloky rovnakého typu. Prvé dva bloky v roku 2009 prvýkrát prekročili 7 000 GWh vyrobenej elektrickej energie za rok. Celkovo tak pokrývajú približne 26 % spotreby elektrickej energie na Slovensku. Tretí mochovský jadrový blok je pred dokončením. Slovenské elektrárne, a.s. tu chceli v júli 2018 zaviezť jadrové palivo. Jeho fyzikálne a energetické spúšťanie sa však neustále odkladá. Po dokončení výstavby tretieho a štvrtého jadrového bloku bude Slovenská elektrizačná prenosová sústava z hľadiska zabezpečenia silovej elektriny bezpečná, a to aj v prípade neprevádzkovania odstavených fosílnych elektrární PPC Malženice, PPC Bratislava a štyroch 110 MW blokov v tepelných elektrárnach ENO B – blok 3 a 4, a EVO 1 – blok 1 a 2, ktoré dokázali flexibilne meniť hodnotu dodávaného výkonu podľa potrieb elektrizačnej sústavy.

Spolu jadrové elektrárne tvorili 65% celkovej výroby Slovenských elektrární za rok 2010.

V roku 2010 vyrobili spolu 14 574 GWh elektrickej energie, čo je 52,6% celkovej výroby na Slovensku. V roku 2025 sa počíta s výrobou 22 426 GWh ročne.



*Obr. 2 Pohľad na jadrové elektrárne Jaslovské Bohunice a Mochovce.*

## **Atómy, atómové jadro, jadrová energia - história poznania**

DEMOKRITOS asi 460 – † 370 pred našim let., grécky filozof, zakladateľ myšlienky atomizmu (atóm=nedeliteľný), pripúšťal i myšlienku vákua. Vychádzal z myšlienky nemožnosti deliť veci do nekonečna. Atómy sú jednotné, nestvoriteľné, nezničiteľné, všetky veci vo svete vznikajú iba ich preskupovaním. Bola to hrubá materialistická a ateistická predstava. Epikuros a Lukretius: atómy majú rozmanité podoby a môžu vykonávať rôzne, i chaotické podoby.

PLATÓN a ARISTOTELES asi o 40 rokov neskôr, tvorcovia hlavného prúdu gréckej filozofie, atomizmus nenávisťne odmietli, pripúšťali z atomizmu len stláčanie, rozpínanie a ohrievanie tekutín. Aristotelova filozofia spolu s kresťanstvom v stredoveku vytvorili ideu prvotného hýbateľa, preferovali zmyslové poznanie. Ich učenie neskôr rozvinul Tomáš Akvinský v 13. storočí.

Pierre GASSENDI (fr. teológ, matematik a fyzik) 1592-1655. „Koperník atómovej teórie“ vyvrátil napr. Aristotelovu predstavu, že rýchlosť zvuku je závislá od výšky tónu. V nadväznosti na Keplerove výpočty pozoroval v roku 1631 prechod Merkúra cez slnečný

kotúč, robil pokusy s voľným pádom, bol zástancom Galilea a Koperníka, i keď musel byť voči cirkvi opatrný...oprášil Epikurovo a Lukrétiovo učenie a rozvinul ho. Atómy sú rovnaké bez ohľadu na skupenstvo, aj keď majú rôznu veľkosť a tvar. Pri rýchlom pohybe sa zrážajú. Snažil sa atómovou hypotézou vysvetliť svetlo, teplo a zvuk.

Atómová *hypotéza* (atómy sa samozrejme v tom čase nedali experimentálne pozorovať) postupne získavala prívržencov (Boyle, Hooke, Huygens, Newton, Bernoulli, Lomonosov, Euler, Richman). Konkrétne predstavy o „nespojitosť hmoty“ sa u nich samozrejme líšili. Napríklad I. Newton vo svojom diele Optics v závere tvrdil, že Boh stvoril atómy ako tvrdé nepremenné častice, ktoré na seba pôsobia príťažlivými i odpudivými silami gravitačnými, elektrickými, magnetickými a asi aj nejakými inými, doteraz neznámymi.

Od 17. storočia sa rozvíjala spolu s fyzikou i *mineralógia*. Skúmali sa vlastnosti rôznych nerastov (mechanické, optické, chemické). Napríklad Kepler sa nadchýňal symetriou snehových vločiek a bol objavený dvojlom svetla v kryštáli islandského vápenca. Začala vznikať kryštalografia (abbé R. J. HAUY 1743-1822 – fr. študoval vlastnosti symetrie kryštálov, ich štiepateľnosť, anizotropiu a bol zakladateľom modernej kryštalografie).

CHEMICKÝ ATOMIZMUS: Francúzsky chemik J. L. PROUST (1754-1826) objavil zákon stálych zlučovacích pomerov medzi časticami rôznych látok. Doplnil ho angl. J. DALTON (1766-1804) zákonom o násobných pomeroch zlučovacích (zlúčeniny môžu mať rôzne modifikácie) a zaviedol označovanie chemických prvkov – vtedy ich bolo známych asi 20. Bol známy ako farboslepý. Aj sa občas mýlil: napr. vodík a kyslík podľa Daltona môžu existovať len v zlučovacom pomere 1:1 (t. j. HO).

Ťažko sa rodila predstava **o rozdiel medzi molekulou a atómom**. Napr. Gay-Lussac zistil, že plyny sa zlučujú buď v rovnakých alebo násobných objemoch. Napr. zlúčením H+Cl-vznikne HCl, ale v dvojnásobnom objeme !

Tento problém uspokojivo vysvetlil taliansky gróf L.R.A.C. AVOGADRO. Mal neskôr politické problémy, pôvodne bol advokát, potom učiteľ matematiky a fyziky na univerzite v Turíne. V určitom období mal zákázané učiť...v roku 1811 ešte ako stredoškolský profesor sformuloval **Avogadrov zákon** (pre plyny) v podobe: V rovnakých objemoch rôznych plynov je pri tom istom tlaku a teplote ten istý počet molekúl. To znamená, že napríklad kyslík, vodík alebo chlór sa skladá z molekúl, ktoré obsahujú viac atómov. Ale niektoré molekuly mohli byť aj jednoatomárne. Ako zaujímavosť: Avogadro nikdy nepoznal, a teda ani nezaviedol dnes známu Avogadrovu konštantu. S. CANIZARRO (tal. chemik, bol dlho v exile v Nemecku) v roku 1860 presne rozlíšil pojmy atóm a molekula a vytvoril pojmy relatívnej (pomernej) hmotnosti atómov a molekúl. Jeho prístup viedol na vysvetlenie chemického zloženia mnohých zlúčenín. Mimochodom: na jeho práce neskôr nadviazal Mendelejev.

1865 Josef LOSCHMIDT (z okolia Karlových Varov) určil rozmery molekuly (0,97 nm) a počet molekúl v danom množstve látky, určil strednú dráhu molekúl medzi dvoma zrážkami meraním dynamickej viskozity. Jeho práce viedli na poznatok, že 1 mól plynu pri normálnom tlaku a teplote zaberá 22,4 litra...(Loschmidtovo číslo). Aj keď jeho výsledky sa neskôr spresňovali, viedli na pojem *Avogadrova konštanty*  $6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

D. I. MENDELEJEV 1869 publikoval slávnú "tabuľku" – dôsledok periodického opakovania vlastností prvkov. Niektoré prvky len predpovedal...Tým jasne preukázal, že **atómy musia mať vnútornú štruktúru**. To podporila aj termodynamika a štatistická fyzika...napr. zákon zachovania energie a pod.

A ešte dodajme, že astronóm TYCHO DE BRAHE pozoroval už v roku 1572 v súhvezdí Kassiopea **výbuch supernovy**, čím bola otrasená domnienka o nemennosti stálic (stálych hviezd).

### **Tajomné lúče z vnútra látok**

Prvé v poradí po analýze iskrových a atmosferických výbojov zrejme boli **elektrické vysokonapäťové výboje v zriedených plynoch**. Používal sa RUHMKORFFOV induktor – transformátor s veľkým transf. pomerom, na primárnej cievke bol prerušovač jednosmerného prúdu („princíp zvončeka“). Vyrábala napätie desiatky tisícov voltov a výboje mali dĺžku až pol metra.

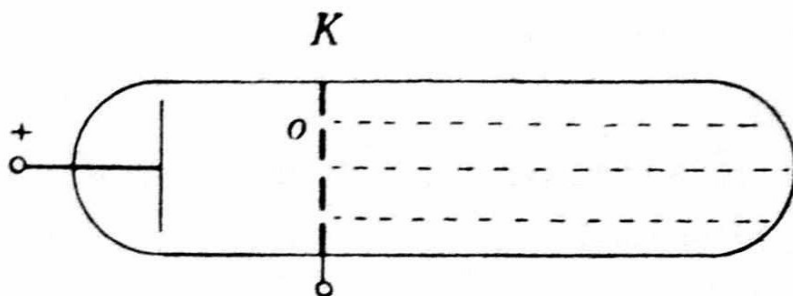
J. W. GEISSLER 1815-1879 (univerzita v Bonne) vynašiel **ortuťovú vývevu** a vedel dosiahnuť nízky tlak asi 10 Pa. V trubici so zatavenou anódou a katódou (GEISSLEROVA TRUBICA) pozoroval **výboje v rôznych zriedených plynoch a usúdil, že z farieb výboja možno určiť chemické zloženie plynu!** Dostal ocenenie na svetovej výstave vo Viedni v r. 1873. Práve výboje vo vákuu boli počiatkom pre objavenie *katódových lúčov*. Dnes vieme, že je to prúd elektrónov, prvých známych elementárnych častíc.

T. A. EDISON **pozoroval v okolí žeravého vlákna žiarovky modré svetielkovanie**. Ako vieme, zatavil do žiarovky druhú elektródu a zistil, že ide o záporné častice. Myslel si, že ide o záporné ióny uhlíka, ktoré sa odparujú z uhlíkového vlákna... Jav vysvetlil až objaviteľ elektrónu JOSEPH JOHN THOMSON v roku 1897.

Za objaviteľa **katódových lúčov** sa považuje Julius PLUCKER. Tiež pôsobil na univerzite v Bonne a spolupracoval s Geisslerom. Pôvodne študovali výboje v zriedených plynoch. V roku 1858 zistil, že pri veľmi nízkom tlaku prestane plyn svetielkovať a objavil na skle oproti katóde žltozelené fluorescenčné svetielkovanie. Akoby z katódy vychádzali neviditeľné lúče, dopadali na sklo na opačnom konci trubice a vyvolali tam svetielkovanie. A zistil tiež, že poloha svetielkujúcej plôšky sa dá ovplyvniť magnetom.

1869 J. W. HITTORF sa zaoberal katódovými lúčmi, dával im do cesty prekážky (napr. maltézsky kríž) a zistil, že sa šíria priamočiari. Ale tiež zistil, že **výboj vo vákuu možno uľahčiť žeravením katódy**. Na to nadviazal E. GOLDSTEIN – zistil, že katódové lúče vystupujú kolmo z povrchu katódy a nezávisia od materiálu katódy. Sú to teda akési „univerzálne“ častice, nezávislé na tom, z akého chemického prvku je katóda vytvorená. **V roku 1876 Goldstein prvý použil názov katódové lúče.**

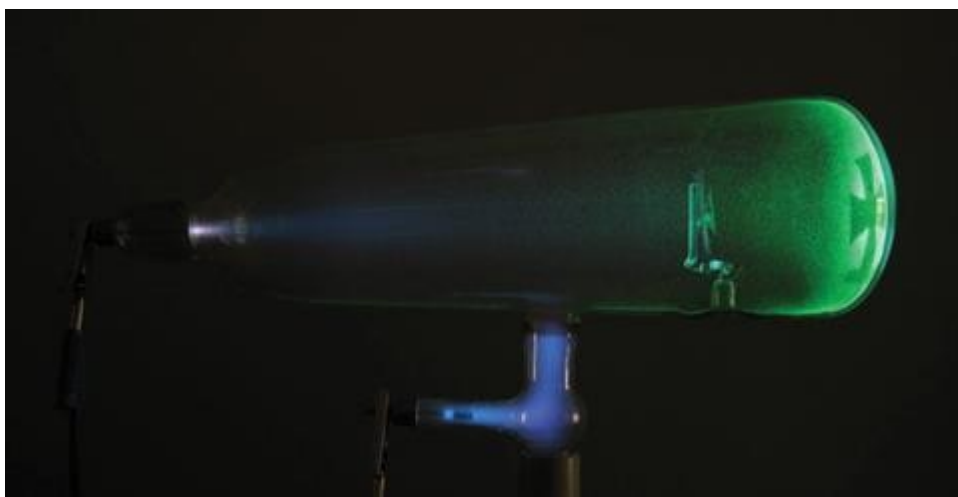
V roku 1886 objavil Goldstein **kanálové lúče**. Sú to vlastne kladné ióny zriedeného plynu, ktoré z otvorov v katóde („kanály“) vyvolávajú žltkasté svetielkovanie smerom od anódy. Keďže rýchlosť kanálových lúčov závisela od hmotnosti iónov (na rozdiel od katódových lúčov), mali zjavne kanálové lúče iné vlastnosti, ako lúče katódové.



Obr. 3. K objavu kanálových lúčov

Štúdiom katódových lúčov sa podrobne zaoberal aj W. CROOKES (1832-1919), ktorý zistil aj väčšinu ich význačných vlastností, nezávislých ani od plynu, ktorý vo výbojovej trubici ostal, ani od materiálu katódy. Tieto vlastnosti sú:

1. Katódové lúče vystupujú kolmo z katódy a šíria sa priamočiario, ako to dokazuje známy pokus s Crookesovým križom. Je to spôsobené tým, že elektrické siločiarly sú na povrch katódy kolmé, ako aj tým, že intenzita elektrického poľa je len v tesnej blízkosti elektród veľká (pozri *obr. 4*). Cez okienko zhotovené z veľmi tenkej hliníkovej fólie (*Lenardovo okienko*) katódové lúče môžu byť vyvedené z výbojovej trubice do okolitého vzduchu, ktorý silne ionizujú, pri prechode cez kovovú fóliu sa však silne rozptyľujú.
2. Miesto, na ktoré katódové lúče dopadajú, sa silne zohrieva.
3. Pôsobia na prekážky mechanickým tlakom.
4. Vzbudzujú fluorescenciu (napríklad skla) a fosforescenciu (smaragdu, rubínu, kazivca a niektorých iných nerastov).
5. Účinkujú na fotografickú dosku.
6. V elektrickom a magnetickom poli mení sa ich smer tak, ako smer pohybu záporných bodových nábojov. Touto svojou vlastnosťou sa katódové lúče podstatne líšia od svetelných lúčov.



*Obr. 4. Pokus s Crookesovým križom - dôkaz priamočiareho šírenia katódových lúčov. Zelené svietenie je zapríčinené fluorescenciou skla pri dopade katódových lúčov.*



Neskôr bola Crookesova trubica (spodný obrázok) použitá pri objave X-lúčov. Katódové i kanálové lúče očividne nemohli byť elmag vlnami. V tom sa napr. Goldstein veľmi mylil.

Na tieto pokusy nadviazal P. LENARD, kontroverzný fyzik (narodil sa v Bratislave), ktorý v roku 1902 publikoval výsledky experimentov s fotoefektom. Jedinou veličinou, ktorá vplýva na uvoľnenie elektrónov z kovu, bola frekvencia žiarenia. **Fotoefekt** (uvoľňovanie elektrónov z povrchu kovu žiarením) objavil H. Hertz.

1895 W. C. RÖNTGEN objavil **X-lúče** (použil na vyvedenie urýchlených elektrónov Lenardovo okienko), pri dopade elektrónov na platinokyanid barnatý. Okolnosti objavu sú dodnes zahalené tajomstvom, on pôvodne očakával fluorescenčné svetielkovanie pri dopade katódových lúčov. 1912 M. von LAUE objavil difrakciu X- lúčov na kryštáloch. Ukázalo sa, že röntgenové lúče majú schopnosť prenikať látkami a ľudským tkanivom. Pozri [https://sk.wikipedia.org/wiki/Wilhelm\\_Conrad\\_R%C3%B6ntgen](https://sk.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Conrad_R%C3%B6ntgen) .

1897 **objav elektrónu** (J. J. THOMSON). Dovtedy nebolo celkom jasné, čo sú to katódové lúče. Elektrón je stabilná elementárna častica. Thomson zistil, že **nielen magnetické, ale aj elektrické pole vychýľuje katódové lúče**. To mohol uskutočniť vďaka tomu, že v trubici mal dostatočné vákuum, čo ešte nemal kedysi Hertz. (V Hertzových pokusoch vznikali vo veľkom množstve ióny plynu). Thomson usúdil, že ide o korpuskule s merným nábojom okolo  $10^{11}$  C/kg. Názov „elektrón“ použil až v roku 1914. Merný náboj bol viac než tisíckrát väčší ako merný náboj ionizovaného vodíka. **Bolo však jasné, že vnútri atómu sa musia nachádzať rôzne častice**. V roku 1899 J. J. Thomson dokázal, že katódové lúče vznikajú aj pri termoemisii z katódy. Elementárne nábojové množstvo (atomizmus el. náboja) ako pojem zaviedol zrejme Ír G. J. STONEY okolo roku 1870 pri štúdiu elektrochemických procesov. V roku 1891 použil názov „elektrón“.

1903 vytvoril Thomson „**pudingový**“ **model atómu** (kladne nabitá guľa, na povrchu s malými zápornými elektrónmi). V tom istom období Japonec H. Nagaoka vytvoril model podobný na planétu Saturn, pričom elektróny tvoria prstence. Neskôr bol vytvorený i **planetárny model atómu**, ale ten pod vplyvom nových poznatkov z kvantovej mechaniky neobstál.

1912 Rakúšan F. HESS objavil ionizujúce „kozmicke“ žiarenie z vesmíru.

1922 STERN+ GERLACH zistili, že elektrón má magnetický moment (tzv. spinový). Túto predstavu dotiahol v roku 1925 GOUDSMITH + UHLENBECK – zaviedli pojem spinu. 1928 P. A. M. DIRAC – kvantová relativistická teória – predpoved' existencie antičastíc (pozitronov), 1932 ANDERSON pomocou hmlovej komory objavil stopy pozitronu...a už vtedy vznikla myšlienka o anihilácii častíc. V roku 1923 L. de BROGLIE vytvoril pojem vlnovej povahy častíc.

Za **objaviteľa atómového jadra** (roky 1909-1911) sa považuje Ernest RUTHERFORD 1871-1937, pôvodom Škót, jeho rodičia prešli v r. 1842 na Nový Zéland. E. R. mal šťastie, získal štipendium do Cavendishových laboratórií v Anglicku, kde bol riaditeľom J. J. Thomson a bol tam špičkový fyzikálny výskum. Bolo to v roku 1895. Pomáhal Thomsonovi pri skúmaní ionizácie plynov röntgenovým žiarením, ktoré viedli k objavu elektrónu.

1896 A. H. BEQUEREL (fr.) v Paríži objavil „**uránové**“ **lúče**. Zaoberal sa fosforenciou solí uránu, ktorú ožaroval UV slnečným žiarením. Omylom nechal v blízkosti

neožiarenej uránovej soli fotografickú dosku a nečakane potom zistil, že sa na ňu exponoval obraz kryštálu soli. U-soľ žiarila bez predbežného ožiarenia...a stále. Tieto lúče ionizujú vzduch, elektrizujú. Neskôr sa ukázalo, že šlo o **beta-žiarenie** Th 234 a Pr 234 v rovnováhe s U 238. Začali sa preteky v odhaľovaní výskumu rádioaktivity. Manželia PIERRE A MARIE CURIE sa začali zaoberať izolovaním nových prvkov polónia a rádia zo smolinca (vyťažného v Jáchymove) a skúmali lúče, objavené Bequerelom. Jav nazvala M. Curie **rádioaktivitou**. 1903 dostali títo traja Francúzi Nobelovu cenu, ktorí výskumom objavili dva neznáme rádioaktívne prvky polónium a rádium. Manželia Curie tiež zistili, že vplyvom rádioaktívneho žiarenia z Ra alebo Th začínajú okolité predmety tiež žiariť. Nazvali to indukovanou rádioaktivitou.

Až mnoho rokov neskôr sa ukázalo, že **ionizujúce žiarenie (X-lúče a rádioaktivita) sú mimoriadne škodlivé pre ľudský organizmus**. Napr. Edison v roku 1896 na výstave v New Yorku ako atrakciu prevádzal rontgenové presvietenie kostry ruky. Až keď jeden pracovník výstaviska zomrel na ťažké popáleniny, musela sa atrakcia zrušiť....Taktiež P. Curie utrpel pri výskume Ra ťažké popáleniny kože a navrhol využívať rádioizotopy na lekárske účely.

1898 ERNEST RUTHERFORD zistil, že **rádioaktívne žiarenie nie je homogénne**. Obsahuje málo prenikavú zložku (**žiarenia alfa**) a prenikavejšiu zložku (**žiarenie beta**). 1903 Bequerel stotožnil beta častice s elektrónmi a Rutherford stotožnil alfa častice s iónmi He. V roku 1900 P. U. VILLARD v Paríži pozoroval **žiarenie gama**, ktoré bolo najpenikavejšie.

1898 odišiel Rutherford do Montrealu. Nadviazal na poznatky Curieových a zistil, že z Ra a Th sa uvoľňujú rádioaktívne plyny, ktoré sa usadzujú na okolitých predmetoch. Tak bol objavený radón (Rn). V Montreali Rutherford a kol. vytvoril ucelenú predstavu o rádioaktívnych premenách prvkov (**transmutácia**). Samovoľný „rozpad“ prebieha za určitý charakteristický čas, tzv. **polčas premeny**. Nové fragmenty môžu, ale nemusia byť stabilné. Niektoré prvky tak môžu mať rôznu atómovú hmotnosť – nazvali ich neskôr **izotopy** (tento názov navrhol v r. 1913 SODDY). Rutherford taktiež v roku 1903 predpovedal vznik transuránov. 1907 sa vrátil do Anglicka (Manchester) a v roku 1908 dostal napodiv Nobelovu cenu za chémiu.

Neskôr CH. WILSON a potom H. W. GEIGER so študentom Mullerom vytvorili registračné zariadenia na meranie ionizujúceho žiarenia (hmlová komora a G-M počítač).

V tom čase sa pre oblasť mikrosveta začala rozvíjať aj **kvantová fyzika**, ktorá pomohla vysvetliť stavbu atómu (elektrónový obal) a vlnovo-časticový dualizmus.

## **Objav atómového jadra**

Pričinili sa oň H. W. GEIGER a E. MARSDEN pod vedením E. RUTHERFORDA. Vtedy presadzovaný Thomsonov pudingový model atómu dostal vážne rany. Začali sa totiž **experimenty s rozptylom alfa a beta častíc v plynch a tenkých Au fóliách** (1908). Samozrejme to prebiehalo vo vákuu, používali na registráciu rozptýlených alfa častíc scintilačné tienidlo (vznikali na ňom záblesky pozorované mikroskopom). Zistili, že veľmi malá časť rozptýlených alfa častíc sa vychyľovala i pod uhlami viac ako 90 stupňov, ba dokonca i v spätnom smere! Očakávalo sa, že ide zrejme len o dôsledok viacnásobného rozptylu alfa častíc. Rutherford správne usúdil, že za to môže zrážka s jediným atómom, v strede ktorého je sústredená prakticky celá hmotnosť a kladný náboj. **Spätný rozptyl alfa častíc publikovali v roku 1909.**



Rozmery objemu jadra neskôr odhadli na  $10^{-15}$  m a príslušnú časť atómu od roku 1912 začínali nazývať **nucleus**. Rutherford prepočítal priebeh zrážok alfa častíc s nehybným atómom Au a zistil, že sa dá definovať akási malá fiktívna plôška, na ktorú ak častica „dopadne“, je pravdepodobnosť zrážky, a teda odchýlky častice vysoká (nazval to zrážkový prierez rozptylu). Tak vznikol slávny **Rutherfordov vzorec**, v ktorom pravdepodobnosť odchýlenia častice je nepriamo úmerná štvrtjej mocnине rýchlosti a štvrtjej mocnине sínusu uhla rozptylu. **Rutherford toto prezentoval a publikoval v roku 1911, čo sa považuje za medzník v objave jadra atómu.** V roku 1914 Rutherford vydáva prácu *Štruktúra atómu*, kde udáva rozmery jadra, ktorého elektrický náboj je kladný a je celočíselným násobkom elementárneho náboja. Ak by sa považovalo jadro vodíka za základ výstavby iných atómov, potom hmotnosť jadier je takmer vždy dvojnásobná, resp. aspoň vyššia, ako by zodpovedalo počtu jadier vodíka. Bol teda už vtedy na stope protónu a neutrónu. Protón ešte nazýval „kladný elektrón“ a alfa častice považoval za zvlášť stabilné, ktoré obsahujú štyri ťažké kladné protóny a dva ľahké záporné elektróny. (V skutočnosti alfa časticu tvoria dva protóny a dva neutróny). Taktiež považoval za prekvapujúce, že kladné ťažké elektróny (t. j. protóny) z jadra nikdy nevyletujú...Ale zároveň upozornil, že hmotnosť jadra He nie je rovná štvornásobku hmotnosti jadra H. To znamená, že štruktúra jadra musí byť zložitejšia. Zároveň nechcel komentovať, ako sa pohybujú elektróny v obrovskom priestore okolo jadra atómu. Odvolával sa na N. BOHRA, ktorý v roku 1913 vytvoril **prvý kvantový model atómu vodíka**, v ktorom je zrejmé, že stabilita elektrónového obalu sa nedá vysvetliť poznatkami klasickej fyziky a treba vychádzať z Planckovej kvantovej koncepcie. Elektrón môže v atóme mať len určité diskkrétne hodnoty energie a v týchto stavoch nevyžaruje (tým "padla" predstava o planetárnom modeli atómu, v ktorej by podľa klasickej elektrodynamiky musel krúžiaci elektrón vyžarovať energiu spojitém spôsobom.

Súčasne s Rutherfordom robila pokusy s rozptylom alfa častíc aj M. CURIE napríklad na dvojici dvoch rôznych fólií. Zmenou poradia fólií sa menili i výsledky pokusu. Je tiež zaujímavé, že v roku 1906 robil pražský profesor B. Kučera so študentom Maškom tiež pokusy s rozptylom alfa častíc na dvojici fólií, dva roky pred Marsdenom a Geigerom. Takže aj iní boli blízko objavu jadra.

1917 RUTHERFORD – druhý kľúčový pokus – **umelá jadrová reakcia** (premena jedného prvku na iný). Výsledkom bol aj **objav protónu**. V sklenej trubici naplnenej dusíkom prechádzal intenzívny zväzok častíc alfa uvoľnený z radónu. Na scintilačnom tienidle sa následne objavovali záblesky po dopade jadier vodíka. Vysvetlenie: atómy dusíka sa premenili na izotop kyslíka  $O^{17}$  a vodík. Pre jadro vodíka zaviedol Rutherford názov *protón*.

1919 prechádza Rutherford do Cambridge na miesto riaditeľa Cavendishových laboratórií. Jeho zástupcom sa stal James CHADWICK. Ten v roku **1932 objavil neutrón**. Poznanie skutočného zloženia atómového jadra sa postupne spresňovalo. V roku 1931 Walther BOTHE zistil, že berýliový preparát ožarovaný časticami alfa vydáva nové, neznáme Be-lúče, ktoré sa v elektrickom aj magnetickom poli neodchyľujú. Pôvodne sa domnieval, že ide o vysokonergetické častice gama. Berýliovým žiarením sa zaoberali aj IRÉNE CURIE a FRÉDERIC JOLIOT-CURIE a zopakovali Botheho pokusy s tým, že zistili, že Be-lúče môžu vyrážať atómové jadrá z látky a pozorovali vo Wilsonovej hmlovej komore uvoľnené jadrá vodíka, hélia a dusíka. Z toho usúdili, že **Be-žiarenie má časticovú povahu**. Ale predbehol ich tesne Chadwick a nazval tieto častice neutrónmi.

Neutrón má „výhodu“ v tom, že môže ľahko prenikáť do vnútra atómu k jadrú, pretože nemá elektrický náboj. Môže sa na jadre rozptýliť alebo zachytiť a vyvolať jeho štiepenie. Manželia JOLIOTOVCI v roku 1934 zistili, že **neutrón nie je stabilná častica a rozpadá sa**

**na protón, elektrón a antineutríno s polčasom rozpadu 15 minút.** V jadre sa však nerozpadá a spolu s protónom dostali tieto dve častice spoločný názov *nukleón*.

**Objav neutrónu poskytol jadrovej fyzike účinný nástroj na**

- **pretváranie atómových jadier**
- **uvoľňovanie jadrovej energie**

1934 manželia Joliotovci zistili, že pri ostreľovaní  $Al^{27}$  časticami alfa vzniká izotop  $P^{30}$ , ktorý v prírode neexistuje a má polčas rozpadu 130 s. Tak vznikne stabilný izotop kremíka! Objavili **umelú rádioaktivitu** (Nobelova cena za fyziku 1935). Dnes poznáme tisíce radioizotopov.

J. D. COCKROFT a E. WALTON v Cavendish lab skonštruovali **jeden z prvých urýchľovačov ťažkých častíc** – kaskádový generátor. Umožnil napríklad realizovať transmutáciu jadra Li pomocou rýchlych protónov.

M. OLIPHANT + E. RUTHERFORD overili platnosť Einsteinovej rovnice  $E = mc^2$  pri jadrových reakciách. 1931 H. UREY objavil ťažký vodík – deutérium. Následne Rutherford, Oliphant a Harteck objavili aj rádioaktívne tritium a pri reakciách s urýchlenými jadrami-deuterónmi pozorovali jav **fúzie ľahkých jadier**.

Všetky základné objavy jadrovej fyziky boli takto vykonané. Vznikli tak **vedecké predpoklady pre vznik**

- **jadrovej energetiky**
- **vývoj nukleárných a termonukleárných bômb**

Pritom sám Rutherford v roku 1933 neuveriteľne vyhlásil: *Myšlienka, že by bolo možné z vnútra atómu uvoľniť obrovskú energiu, je absurdná.*

1939 Otto HAHN a F. STRASSMANN, dva roky po smrti Rutherforda, publikovali pokus – **analýza produktov štiepenia U ožarovaním neutrónmi**, pri ktorom sa uvoľnilo aj niekoľko neutrónov.

Ďalšie experimenty totiž prebiehali už počas druhej svetovej vojny a vznikala aj hrozba, že hitlerovské Nemecko vyrobí jadrovú bombu ako prvé. Ožarovanie uránu neutrónmi skúmali v Nemecku Otto HAHN, Lise MEITNEROVÁ (pochádzala z Viedne) a Fritz STRASSMANN. Rakúska židovka Meitnerová musela však ujsť v roku 1938 do Holandska a potom do Švédska. Hahn ju telefonicky informoval o výsledkoch pokusov z roku 1939 a udáva sa, že práve Meitnerová si prvá uvedomila riziká jadrovej éry. Taktiež zaviedla pojem "štiepenie jadier uránu" a vyslala za Bohrom svojho synovca O. R. FRISCHA. Bohr potom šiel do USA (1939) a informoval amerických fyzikov...dal im cenné informácie o podrobnostiach štiepenia uránu 235. 1942 E. FERMI v Chicagu v priestoroch pod tribúnou starého univerzitného futbalového štadióna uskutočnil vtedy **už prvú veľmi utajovanú reťazovú reakciu** (ako spomaľovač neutrónov použil Cd tyče a uhlík) – fakticky prvý reaktor pre jadrovú energetiku. Bol to veľmi riskantný experiment, ale Fermiho preslávil - "uvoľnil z hmoty miliónkrát väčšiu energiu ako praveký vynálezca ohňa". Ale je to aj princíp atómovej bomby...takže okrem vývoja reaktorov na výrobu uránu 235 vznikol v USA aj projekt "Manhattan" - vývoj jadrovej bomby. Fermi prešiel do Los Alamos (New Mexiko). Vývoj bomby tam riadil J. R. OPPENHEIMER, žiak Rutherforda a Borna. 16. 7. 1945 vybuchla v USA na pokusnom polygóne v Novom Mexiku plutóniová jadrová bomba a o. i. sa potvrdila Einsteinova hypotéza o ekvivalencii hmotnosti a energie, ktorú dovtedy nebral nikto

vážne. 6. 8. 1945 vybuchla nad Hirošimou ďalšia Pu - bomba...V Nemecku riadil počas vojny jadrový výskum W. K. HEISENBERG (O. HAHN a M. von LAUE to odmietli), no Nemecko nevyčlenilo kvôli vojnovým výdavkom dostatok prostriedkov (Hitler veril, že blesková vojna bude úspešná i s existujúcimi zbraňami) a atómová bomba v Nemecku nevznikla.

Kvôli úplnosti už len dodajme, že v roku 1940 v ZSSR G. N. FLJOROV a K. A. PETRŽAK potvrdili Bohrovu hypotézu, že jadro U 235 sa môže niekedy rozštiepiť aj samovoľne, bez ožarovania neutrónmi. Jadrový výskum v ZSSR riadil I. V. KURČATOV (1903-1960). Podieľal sa na vývoji jadrových zbraní, v roku 1939 stál pri vytvorení ruského cyklotronu, 1946 pri spustení jadrového reaktora a komerčnej jadrovej elektrárne v Obninsku v roku 1954. Taktiež je strojom pohonu ruských jadrových ponoriek (1959).

### ***Do budúcnosti***

Jadrová energetika má nesporne veľkú budúcnosť, hoci v posledných rokoch jej využívanie stagnuje. Zásoby fosílnych palív sa rýchlo mňajú a obnoviteľné zdroje po vyťažení ropy, uhlia a zemného plynu s veľkou pravdepodobnosťou nebudú schopné tieto zdroje zastúpiť bez drastického nárastu cien energií, kým nebude objavený alebo dostupný iný spôsob výroby (najmä kým sa podarí postaviť fúzne reaktory produkujúce viac energie, než sa spotrebuje na ich spustenie). Vo výhľade do bližšej budúcnosti sa plánujú jadrové reaktory 3.+ a neskôr 4. generácie, produkujúce minimum odpadu, bezpečné a lacné. Reaktory 4. generácie budú ako palivo zrejme používať tórium, ktoré je menej radioaktívne, produkuje 10- až 10 000-krát menej radioaktívneho odpadu s dlhou životnosťou a v normálnych podmienkach nespúšťa reťazovú reakciu. Navyše, známe zásoby tória vystačia na približne 1000 rokov, pretože sa využije všetko vyťažené tórium, na rozdiel od uránu, kde sa využíva len niekoľko izotopov. Urán sa začal používať najmä z dôvodu potreby obohateného uránu na výrobu jadrových zbraní a bolo neekonomické vyvíjať reaktory používajúce iné palivo. Výskumu tóriových reaktorov sa v súčasnosti venuje najmä India.

Proti využitiu jadrovej energie sa v mnohých krajinách vyspelého sveta zdvihla vlna odporu, založená na obavách z nehody (ako napr. Černobyľská havária, či nedávna havária v japonskej jadrovej elektrárni Fukušima 1), strachu z radiácie, rizikách spojených s ich prevádzkou a problémami s jadrovým odpadom. V Rakúsku (1978), Švédsku (1980) a Taliansku (1987) dokonca prebehli referendá, dôsledkom ktorých sa upustilo od využitia jadrovej energie.

Proti početným skupinám odporcov jadrovej energie stoja početné skupiny stúpcov, ktorí považujú jadrovú energetiku za jediné možné riešenie hroziacej energetickej krízy a globálneho otepľovania. Vidia atómové elektrárne ako jedno z mála ekologicky prijateľných a reálnych riešení energetických problémov pre 21. storočie. Často je spomínaná nutnosť čo najrýchlejšieho vývinu fúzneho reaktora a atómové elektrárne sú považované za jediný prijateľný prostriedok, ktorým sa dá preklenúť prechodné obdobie vývoja a zavádzania tohto nového zdroja energie. Vďaka prevádzke atómových elektrární nemusí byť ročne vypustených 1,8 mld. ton CO<sub>2</sub>. Na Slovensku sú podľa nezávislého výskumu z roku 2008 3/4 obyvateľstva naklonené k ďalšiemu využívaniu jadrovej energie. 68,7% obyvateľov dôveruje v bezpečnosť prevádzky AE na Slovensku, 21,5% nedôveruje.