



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ  
FAKULTA**  
Univerzita Karlova

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Marta Nocarová

# **Aktivity z částicové fyziky na střední škole**

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Koupilová Zdeňka, Ph.D.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Učitelství fyziky – Učitelství  
matematiky

Praha 2022

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů. Tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V ..... dne .....

Podpis autora

Chci poděkovat vedoucí práce, RNDr. Zdeňce Koupilové, Ph.D., za všechnu pomoc, čas a trpělivost, které mi v průběhu psaní práce věnovala.  
Děkuji též RNDr. Janu Koupilovi, PhD, a Mgr. Matěji Rystonovi za tisk pomůcek na 3D tiskárně.

Název práce: Aktivity z částicové fyziky na střední škole

Autor: Marta Nocarová

Katedra: Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Koupilová Zdeňka, Ph.D., Katedra didaktiky fyziky

Abstrakt:

Cílem této práce bylo seznámit se s problematikou výuky fyziky mikrosvěta, zejména fyziky částic, na střední škole a s literaturou v rámci tohoto tématu, která se zabývá pokusy či aktivitami. Rešerše byla zaměřena na oficiální školní dokumenty České republiky a vybraných evropských zemí, dostupnou literaturu použitelnou k výuce a otázku, zda jsou žáci schopni této látky porozumět. Vznikly tři aktivity s pracovními listy pro žáky a s příručkami pro učitele, které obsahují plán hodiny a poznámky k provedení a pomůckám. Aktivity se věnují Rutherfordovu pokusu, kvarkovému modelu a bublinovým komorám. Podle možností byly i vyzkoušeny.

Klíčová slova: částicová fyzika, standardní model, experimentální sada, aktivity do výuky

Title: Activities in particle physics at secondary-school level

Author: Marta Nocarová

Department: Department of Physics Education

Supervisor: RNDr. Koupilová Zdeňka, Ph.D., Department of Physics Education

Abstract: This thesis is aimed at teaching of particle physics on secondary school level and studies literature dealing with experiments and activities which are usable in the classroom. The research was focused on curricula in different European countries, accessible literature useful for teaching, and whether pupils are capable of learning this topic. Three activities were created together with worksheets for pupils and a handbook for a teacher, which contains lesson plans and notes about performing. Their respective topics are Rutherford's experiment, quark model and bubble chambers. They were tested as it were possible.

Keywords: particle physics, Standard model, experimental set, students' activities

# Obsah

Úvod	2
<b>1 Místo částicové fyziky ve výuce</b>	<b>4</b>
1.1 Částicová fyzika v českých školních dokumentech . . . . .	4
1.2 Částicová fyzika v zahraničních školních dokumentech . . . . .	4
1.3 Dostupné materiály pro učitele . . . . .	7
1.3.1 České . . . . .	7
1.3.2 Anglické . . . . .	8
<b>2 Přístupnost částicové fyziky pro žáky</b>	<b>10</b>
<b>3 Rutherfordův rozptyl</b>	<b>14</b>
3.1 Teoretická část . . . . .	14
3.2 Rešeršní část . . . . .	15
3.3 Praktická část . . . . .	16
<b>4 Kvarky</b>	<b>19</b>
4.1 Teoretická část . . . . .	19
4.2 Rešeršní část . . . . .	19
4.3 Praktická část . . . . .	20
<b>5 Bublinová komora</b>	<b>22</b>
5.1 Teoretická část . . . . .	22
5.2 Didaktická část . . . . .	22
5.3 Rešeršní část . . . . .	23
5.4 Praktická část . . . . .	25
<b>Závěr</b>	<b>27</b>
<b>Literatura</b>	<b>28</b>
<b>Seznam obrázků</b>	<b>33</b>
<b>A Příloha – aktivita Rutherfordův experiment</b>	<b>34</b>
<b>B Příloha – aktivita Kvarky</b>	<b>52</b>
<b>C Příloha – aktivita Bublinová komora</b>	<b>69</b>

# Úvod

Otázka po tom, z čeho jsme my a svět kolem nás utvořeni, provází lidstvo od nepaměti. Našemu současnému poznání mikrosvěta nejlépe odpovídá standardní model částic. Tento model popisuje elementární částice, tedy částice, které nemají žádnou vnitřní strukturu, a jejich interakce. Známe tři fundamentální interakce – silnou, slabou a elektromagnetickou. Gravitační síla není součástí standardního modelu; ve fyzice mikrosvěta totiž hraje zanedbatelnou roli. Elementární částice rozděleny na fermiony a bosony. Veškerou hmotu poskládají fermiony; ty se dále dělí kvarky a leptony. Bosony hrají roli intermediálních částic, zprostředkovávají interakce. Na kvarky působí silná interakce zprostředkovávaná gluony. Náboj silné interakce je nazýván barva, existují tři barvy a ke každé barvě antibarva. Gluon je částice bez hmotnosti nesoucí kombinaci jedné barvy a jedné antibarvy. Kvarky mají hmotnost, elektrický náboj a mají jednu barvu. Leptony barevný náboj nemají, působí na ně slabá interakce. Ta je zprostředkována bosony  $W^+$ ,  $W^-$  a  $Z$ . Známe tři generace leptonů, elektron s elektronovým neutrinem, mion a mionové neutrino, tau lepton a tau neutrino. Elektron, mion a tau jsou záporně nabité, neutrina jsou elektricky neutrální. Stejným způsobem jsou do tří generací rozděleny kvarky; nejlehčí dvojice  $d$ ,  $u$ , další  $s$  a  $c$ , třetí  $b$  a  $t$ . Ke každému kvarku nebo leptonu existuje antičástice. Elektromagnetická interakce působí na všechny elektricky nabitě částice a zprostředkovávají ji fotony, částice bez náboje a bez hmotnosti. Hmotnost částicím dodává Higgsovo pole, k němuž patří Higgsův boson. [1]

Fyzika mikrosvěta byla systematicky zkoumána od konce 19. století. V této práci zmiňujeme tzv. Rutherfordův pokus, který vedl k objevu atomového jádra, a bublinovou komoru, detektor částic používaný v částicové fyzice od konce 50. do 80. let 20. století.

Pro výuku fyziky mikrosvěta neexistuje mnoho žákovských ani demonstračních pokusů, které bychom mohli provést v běžné třídě a které by byly pro běžné studenty uchopitelné. Přesto můžeme použitím modelů a vhodně volených didaktických postupů zprostředkovat učení této zajímavé oblasti i jinak než četbou učebnice. Naším cílem bylo vytvořit zajímavé a obohacující aktivity do výuky, které by mohl učitel fyziky na střední škole (případně v posledním ročníku základní školy) využít ve své hodině bez větších příprav.

Pro tyto účely bylo potřeba se seznámit s problematikou výuky fyziky mikrosvěta na středoškolské úrovni, provést rešerši literatury, která se aktivitám v oblasti fyziky mikrosvěta věnuje, a zvolit z nich aktivity, které mohou sloužit jako inspirace pro vlastní tvorbu. K těmto aktivitám bylo třeba dotvořit pomůcky, pokyny pro učitele s potřebnou teorií, návodem na provedení a dalších poznámek, následně je otestovat s žáky a podle získaných zkušeností materiály upravit.

V zadání práce je použit termín fyzika mikrosvěta, dále používáme spíše pojem „částicová fyzika“, aby bylo zřejmé, že jsme se v práci rozhodli zaměřit na problematiku elementárních částic a na kvantovou, jadernou nebo atomovou fyziku se nesoustředíme.

První kapitola se zabývá problematikou výuky částicové fyziky z hlediska jejího začlenění do oficiálních plánů a do knih. Chtěli jsme vědět, zda se vůbec fyzika částic vyučuje, pokud ano, tak do jakých podrobností, a jaké má místo

v českých učebnicích a k jakým zdrojům má přístup běžný učitel. Kromě českých rámcových vzdělávacích plánů jsme se seznámili s obdobnými oficiálními dokumenty některých evropských zemí. Prohlédli jsme také základní české učebnice fyziky pro 2. stupeň základních škol a střední školy a některé dostupné doplňkové materiály. V další kapitole jsme se na problematiku výuky podívali z hlediska kognitivních schopností žáků a ptali jsme se, zda mohou tuto část fyziky pochopit a jak jim pochopení ulehčit.

Po prvotní rešerši zdrojů jsme vybrali tři témata, která jsme využili pro tvorbu aktivit. Pro tato tři témata jsme provedli další, již úzce specializovanou, rešerši zdrojů. Ke každé aktivitě jsme vytvořili příručku pro učitele, která obsahuje navržený plán hodiny, komentáře k variantám nebo pomůckám a pracovní listy pro žáky. Pomůcky pro tyto aktivity jsme přejali nebo vytvořili podle dostupných zdrojů. Aktivity jsme vyzkoušeli s žáky středních škol.

Každé aktivitě je věnována jedna kapitola. Tyto kapitoly shrnují fyzikální poznatky, které se snažíme v rámci aktivity žákům předat, rešerši zdrojů k této aktivitě a komentáře k jejímu vzniku. V rámci rešerše představíme zdroje, které se tímto tématem také zabývají, a okomentujeme, které jsme využili, kterými jsme se inspirovali a které jsou zajímavé, ale nenašli jsme pro ně využití. V poslední části každé kapitoly prezentujeme, jak aktivita vznikala, jaká jsou její specifika a kterými problémy jsme se více zabývali. Ke kapitole o aktivitě o bublinové komoře je navíc přidána didaktická kapitola, neboť používáme skládkové učení. To je méně obvyklá výuková metoda a považovali jsme tedy za vhodné ji okomentovat.

V příloze se nachází příručky pro učitele s pracovními listy ke každé z aktivit.

# 1. Místo částicové fyziky ve výuce

V této kapitole se ptáme na to, jaké je místo částicové fyziky ve výuce na středních a v posledních ročnících základních škol, zda a jak se s touto látkou ve výuce fyziky počítá. To zahrnuje jednak oficiální dokumenty jako RVP a jeho zahraniční alternativy, jednak materiály, které jsou učiteli přístupné, tedy učebnice, weby atd.

## 1.1 Částicová fyzika v českých školních dokumentech

V revidovaném Rámcovém vzdělávacím programu (RVP) pro základní vzdělávání v sekci fyzika nenajdeme přímou zmínku o částicích, ani o atomu. O atomech se žáci mají učit v chemii, konkrétně je cílem, aby žák používal „pojmy atom a molekula, prvek a sloučenina ve správných souvislostech“ a učivem je „částicové složení látek: molekuly, atomy, atomové jádro, protony, neutrony, elektronový obal a jeho změny v chemických reakcích, elektrony“. [2]

RVP pro gymnázia je v tomto ohledu bohatší. Do očekávaných výstupů patří, mj. že „žák využívá poznatky o kvantování energie záření a mikročástic k řešení fyzikálních problémů“ a „posoudí jadernou přeměnu z hlediska vstupních a výstupních částic i energetické bilance“. Výpis učiva neobsahuje přímo elementární částice, ale věnuje se více kvantové fyzice zahrnuje „kvanta a vlny – foton a jeho energie; korpuskulárně vlnová povaha záření a mikročástic;“ dále „atomy – kvantování energie elektronů v atomu; spontánní a stimulovaná emise, laser; jaderná energie; syntéza a štěpení jader atomů; řetězová reakce, jaderný reaktor“. [3] Na stejném místě jako RVP platné v době psaní této práce, tedy na stránkách Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy, najdeme i aktualizovanou verzi RVP pro gymnázia, platnou od podzimu 2022. Aktualizace se fyziky nedotýkají, obě verze jsou totožné.

Jako příklad RVP oboru, v němž fyzika nehraje důležitou roli, uvedme RVP pro tříletý učební obor Ošetřovatel. Žáci tohoto oboru mají obvykle fyziku jednu hodinu týdně jeden rok. Od žáka se mimo jiné očekává, že „popíše strukturu elektronového obalu atomu z hlediska energie elektronu“ a „popíše stavbu atomového jádra a charakterizuje základní nukleony“. Učivo obsahuje „model atomu, laser, nukleony“. V rámci tématu Fyzika atomu se žáci věnují ještě radioaktivitě a jadernému záření, jaderné energii a jejímu využití. [4]

## 1.2 Částicová fyzika v zahraničních školních dokumentech

Dávají obdoby rámcových vzdělávacích plánů v jiných zemích částicové fyzice více prostoru? Aníž bychom prováděli podrobnou analýzu vzdělávacích systémů, může pro nás být přínosné se podívat na tuto problematiku do zahraničí. Vybrali jsme několik evropských zemí a porovnáváme jejich kurikula podle toho, zda a případně jak podrobně obsahují téma elementárních částic.

Pokud cituji, uvádím znění konkrétních formulací v tom jazyce, v němž jsem příslušný dokument získala. Tato původní znění jsou následována překlady v závorce.

Z kurikul jsem vybrala části věnující se přímo částicím nebo příbuzné tématice. Země jsem vybírala podle dostupnosti jejich vzdělávacích dokumentů, tedy podle toho, zda bylo možné tyto dokumenty snadno nalézt a zda byly napsány v mně známém jazyce.

Školský systém podobný tomu českému najdeme na Slovensku. Na základních školách se podle oficiálních dokumentů o atomu také nehovoří, ovšem na gymnáziu se s touto látkou počítá [5]. Učivo obsahuje kromě záření a radioaktivity také téma „atom“ a „Lineárny rozmer od Slnecnej sústavy po jadro atómu“. Konkretizací tématu o atomu jsou pokusy Thomsona, Millikana a Rutherforda, výstupem by mělo být, že žák umí „vysvetliť postavenie experimentov a teórií vo fyzikálnom výskume“. Mezi požadavky v tématu rozměru patří, že žák „pozná niektoré prostriedky na skúmanie vesmíru a objektov na úrovni atómu“. Elementární částice však přímo zmiňovány nejsou. [6]

Polští studenti se ve fyzice s atomem na základní škole (szkoła podstawowa) také nepotkají. Vyšší stupeň, liceum či technikum (obojí alternativa české střední školy) si může vybrat ze dvou úrovní fyziky, základní a rozšířené, a oba typy škol by měly končit při stejné zvolené variantě se stejnými znalostmi. V základní verzi se atomu věnují v běžném rozsahu (cílem je popsat stavbu atomu v pojmech proton, neutron a elektron, izotopy a protonové i nukleonové číslo, rozpady jádra a záření, jaderná energetika atp.). Mohlo by nás zaujmout, že v rozšířené verzi nalezneme požadavek, aby „Uczeń opisuje reakcję lub anihilację par cząstka-antycząstka; stosuje zasady zachowania energii i pędu oraz zasadę zachowania ładunku do analizy reakcji lub anihilacji pary elektron-pozyton“ [7] (překlad: žák popíše vznik a zánik elektron-pozitronového páru; využívá zákony zachování energie a hybnosti i zachování náboje pro analýzu vzniku a zániku elektron-pozitronového páru). Z toho můžeme usoudit, že se studenti musí bavit i o jiných částicích, než jen proton, neutron a elektron.

Maďarská vláda má na svých stránkách své školské dokumenty v angličtině. Citace přebíráme z této anglické verze, překlady jsou vlastní. V Maďarsku se žáci v 7. až 8. ročníku učí orientovat ve škále měřítek od atomové po vesmírnou, ale do větších detailů se nepouští. V 9. až 12. ročníku přibývají představy o atomu: „Gravitational interactions, electromagnetic interactions (interactions between electric charges) and interactions within the nucleus of an atom.“ (gravitační interakce, elektromagnetická interakce (interakce mezi elektrickými náboji) a interakce v atomovém jádře) a pro nás nejzajímavější „The nesting of physical systems, hierarchical systems. Quarks, protons, neutrons, electrons, atoms, molecules and other complex systems“ (Základy fyzikálních systémů, hierarchické systémy. Kvarky, protony, neutrony, elektrony, atomy, molekuly a další komplexní systémy). [8] Ze zemí visegrádské čtyřky má tedy Maďarsko největší obsah částicové fyziky ve výuce na středních školách. V průzkumu PISA se ale v oblasti vědeckých dovedností (science proficiency) umístilo těsně pod průměrem OECD, na rozdíl od Polska a České republiky [9].

Podíváme-li se dále do Evropy, nesmíme vynechat Německo. Každá spolková země má své vlastní kurikulum, pro ukázkou můžeme vybrat třeba spolkovou republiku Berlín. Ve spolkové zemi Berlín se žáci ve fyzice v ročnících 7–10 (ekvi-

valent našeho 2. stupně) učí o „Aufbau der Materie aus Elektronen, Protonen und Neutronen; Strahlung als Materie“ (složení hmoty z elektronů, protonů a neutronů; záření jako hmota). Na gymnáziu (Gymnasien) se k tomuto přidává mimo jiné další poznatky z kvantové fyziky a jaderné fyziky, ale i pro nás důležité „Strukturebenen der Atome, Kerne und Quarks, Untersuchungsmethoden“ (překlad: struktura atomu, jádra a kvarky, výzkumné metody). [10] Díky tomu, že v Německu je vyučování o částicové fyzice na středních školách rozšířeno, nalezneme i nemálo vědeckých článků, které se vyučováním této látky zabývají a jejichž autory jsou němečtí vědci.

Pokračujeme-li na západ, ve francouzském kurikulu nalezneme „Constituants de l'atome, structure interne d'un noyau atomique (nucléons : protons, neutrons), électrons“ (složení atomu, vnitřní struktura jádra atomu (nukleony: protony, neutrony), elektrony). Program k tomu poznamenává, že „L'élève réalise qu'il y a une continuité entre l'infiniment petit et l'infiniment grand et que l'échelle humaine se situe entre ces deux extrêmes“ (Žák si uvědomuje, že existuje kontinuita mezi nekonečně malým a nekonečně velkým a že člověk se nalézá mezi těmito dvěma extrémny). Autoři toto téma považují za příležitost, aby se žák učil vyhledávat informace, pracovat s on-line zdroji a posuzovat jejich věrohodnost. Tato látka je předkládána již žákům tzv. čtvrtého cyklu, tedy žákům ročníků odpovídajících naší 7., 8. a 9. třídě. Naproti tomu na lycée, odpovídajícímu české střední škole, se atomu studenti věnují spíše z pohledu chemie. Fyzika se zde učí společně s chemií. [11]

Z evropských zemí se v šetření PISA roku 2018 umístilo nejvýše Estonsko, bylo 3. v celkovém pořadí v porovnávání vědeckých schopností studentů. V Estonsku se na základní škole podobně jako jinde očekává, že „the students name the important features of atomic nucleus, electron shells, proton, neutron, isotope, radioactive decay and nuclear reaction“ (student vyjmenuje důležité vlastnosti atomového jádra, elektronového obalu, protonu, neutronu, izotopu, radioaktivního rozpadu a jaderné reakce). Na vyšším stupni se podrobněji věnují kvantové fyzice, ale elementární částice hlouběji neřeší. [12]

Nejvyšší nároky a nejobsáhlejší náplň mají v tomto ohledu požadavky zkoušky Cambridge International A Levels (jedná se o mezinárodní certifikát, ekvivalent britských zkoušek A levels, provozovaný univerzitou v Cambridge). Zde je v sekci Fundamental particles (Elementární částice) vyjmenována řada bodů, které by měl student zvládnout. Konkrétně, „Candidates should be able to:“ (Kandidát by měl být schopen)

- a) appreciate that protons and neutrons are not fundamental particles since they consist of quarks. (uvědomit si, že protony a neutrony nejsou fundamentální částice, protože se skládají z kvarků.)
- b) describe a simple quark model of hadrons in terms of up, down and strange quarks and their respective antiquarks. (popsat jednoduchý kvarkový model hadronů za použití pojmů kvarky up, down, strange a jejich antikvarky.)
- c) describe protons and neutrons in terms of a simple quark model. (popsat protony a neutrony jako jednoduché kvarkové modely.)
- d) appreciate that there is a weak interaction between quarks, giving rise to  $\beta$  decay. (uvědomit si, že mezi kvarky působí slabá interakce, která zapříčiňuje  $\beta$  rozpad.)

- e) describe  $\beta^-$  and  $\beta^+$  decay in terms of a simple quark model (popsat  $\beta^-$  a  $\beta^+$  rozpad v pojmech jednoduchého kvarkového modelu)
- f) appreciate that electrons and neutrinos are leptons (uvědomit si, že elektrony a neutrina jsou leptony) [13]

## 1.3 Dostupné materiály pro učitele

### 1.3.1 České

Mezi učebnicemi pro základní školu, které jsem měla k dispozici, nenajdeme ani jednu, která by se kvarky nebo vůbec částicemi zabývala. V učebnicích *FYZIKA 9, učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia* [14] a *Fyzika 9, učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia* [15] se autoři zabývají i jadernými silami, žádá však nezmiňuje, že existují i jiné částice než proton a neutron, že existuje CERN, urychlovače atp.

Z učebnic pro střední školu se částicím nejvíce věnuje řada Fyziky pro gymnázia, která fyzice mikrosvěta věnuje celou jednu knihu – *Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvěta* [16]. Fyzikou částic se zabývá jedna kapitola, v níž jsou popsány experimentální metody výzkumu částic, systém částic i interakce mezi částicemi. V rámci experimentálních metod jsou nejprve podrobně popsány metody detekce částic, tedy např. Geigerův Müllerův počítač, mlžné a bublinové komory i scintilační a polovodičové detektory, dále jsou popisovány způsoby získávání částic pro detektory, tedy lineárním a kruhovým urychlovače, cyklotron, synchrotron. Velká pozornost je věnována CERN. Kvarky jsou součástí podkapitoly o systému částic, v níž je podrobně vysvětlen rozdíl mezi částicí a antičásticí, zavedeno názvosloví a podán přehled známých částic. Částice zprostředkující interakce jsou přidány v následující podkapitole o interakcích. Skládání kvarků je zmíněno jen stručně. Látka je pojata ze široka a je kladen důraz na výčet jmen a vlastností. Zmíněný díl Fyziky pro gymnázia napsal doc. Ivan Štoll, který je autorem i učebnice *Fyzika pro netechnické obory SOU a SOŠ* [17]. V rámci kapitoly o fyzice mikrosvěta se zabývá částicemi a urychlovači, kde vysvětluje, co jsou antičástice, anihilace, popisuje interakce mezi částicemi a stručně se zmiňuje i o hadronech, baryonech a mezonech, kvarcích i leptonech. Mnoho prostoru věnuje též urychlovačům, poměrně detailně vysvětluje princip cyklotronu. Se stručným přehledem se setkáme i v knize *Fyzika – příprava k přijímacím zkouškám na vysoké školy* [18]. I zde nalezneme komentář k detektorům částic a jako jediní zmiňují v této kapitole též využití detektorů v praxi, konkrétně v průmyslu, lékařství a biologii a při radiouhlíkové metodě určování stáří materiálu. Kapitola zahrnuje i urychlovače a příklad na počítání rychlosti a energie urychlených částic. O elementárních částicích a fundamentálních interakcích autoři podávají (s upozorněním, že jde o článek s charakterem velmi stručné informace) přehled částic a interakcí. Je to přehled velmi stručný, ale poměrně hutný a srozumitelný.

Existuje taktéž neformální učebnice doc. Jiřího Dolejšího *Částicová fyzika pro začátečníky*. Je poměrně rozsáhlá a obsahem značně převyšuje to, co může být pokryto ve výuce. Pro přímé použití ve výuce ale ani není určená, má sloužit jako „most mezi popularizačními materiály pro širokou veřejnost a nepoučené studenty a mezi ‘profesionálními’ učebnicemi“ a poskytovat učitelům materiál, který mohou

využívat. Pokrývá standardní model, teorii experimentů, historii vývoje částicové fyziky, urychlovače a detektory a jiné.

Učitel, který hledá inspiraci pro výuku kvarkového modelu, nemá ani na internetu v českých zdrojích příliš na výběr. Najdeme nemálo kvalitních zdrojů, které populárně-naučně popisují tuto teorii, avšak zdrojů obsahujících náměty na aktivity je velmi málo. Na metodickém portálu RVP [19] ani ve sborníku Veletrhu nápadů učitelů fyziky [20] nebyly nalezeny příspěvky zabývající se kvarky. Jedinou zpracovanou aktivitu do hodiny se mi podařilo nalézt na stránkách Vysočina Education, kde se nachází metodický materiál vytvořený účastnicemi stáže v CERN. V rámci jedné vyučovací hodiny si žáci upevní znalost základních pojmů částicové fyziky (leptony, pozitron, hadrony...). Z charakteru materiálu je možné usuzovat, že tato procvičovací hodina by měla následovat výkladovou hodinu, v níž budou všechny tyto pojmy zmíněny. Žáci sestavují dvojice kartiček (například elektron–mají elektrický náboj, proto lze jejich dráhu zakřivit v magnetickém poli) a poté o vytvořených dvojicích diskutují. Dále existuje brožury Zdeňky Koupilové *Jaderné hrátky* [21] a *Učíme jadernou fyziku* [22]. Jsou soustředěny spíše na jadernou fyziku, ale našemu tématu je blízká např. aktivita o velikosti atomu, aktivity o rozptylování a Rutherfordově experimentu nebo o stopování elementárních částic.

### 1.3.2 Anglické

Mnohem více zdrojů můžeme najít v angličtině. Předkládáme čtyři, které považujeme za zajímavé a relevantní.

Zajímavým počínem je aktivita Particle Data Group (PDG) Particle Adventure [23]. Jedná se o interaktivní prezentaci či učebnici standardního modelu se speciálním oddílem o Higgsově bosonu, o urychlovačích a detektorech částic, o rozpadech a anihilacích a konečně o „nevyřešených záhadách“ s podkapitolami o fyzice za standardním modelem, supersymetrie, superstrun, temné hmoty atd. Aktivita má formát učebnice, každé téma je rozděleno do kapitol, kapitoly do podkapitol a čtenář stránek je postupně pročítá. Kapitoly jsou prokládány průběžnými otázkami (se správnými odpověďmi), text je doplňován obrázky. Bylo by tedy možné stránky využít pro práci v hodině v počítačové učebně, s tablety, nebo v hodině ve formátu „bring your own device“. V takové hodině by žáci měli pracovní list a při pročítání jej vyplňovali. Jiným možným využitím použitelným i v rámci online hodin by bylo zadat přečtení nějaké části za domácí úkol a v hodině látku prodiskutovat a shrnout.

Dříve podle všeho fungovala česká mutace Particle adventure, ta se však již na původních stránkách nenachází a nebylo nalezeno ani její nové umístění.

Kansas University provozuje web Quarked [24], který je určený pro děti ve věku 7 až 12 let. Autoři se domnívají, že „kids of all ages, even adults, can learn about the subatomic world where the rules of quantum physics apply if they are presented in a fun and engaging way“ („děti všech věků, dokonce i dospělí, se mohou učit o subatomárním světě, v němž platí zákony kvantové fyziky, pokud jsou tyto zákony prezentovány zábavnou a zajímavou formou“). Návštěvník stránek se setkává s postavičkami představujícími jednotlivé kvarky, krátkými vysvětlivkami, hrami, v nichž objevuje skrytý tvar pomocí kopání míče nebo skládá hadrony střílením kvarků aj. V době dokončení práce (květen 2022) některé hry

na webu vyžadující Adobe Flash Player, jemuž byla na konci roku 2020 ukončena podpora, ještě nefungovaly, ale autoři stránek pracují na odstranění problémů. Web je velmi obsáhlý a pokud by jej chtěl pedagog využít, buďto se s ním muset seznámit, nebo jej nechá žáky zkoumat samotné. Web přidává též několik příprav hodin pro učitele ke stažení.

Na stránkách S'cool LAB [25] provozovaných CERN najdeme také mnoho předpřipravených lekcí a plánů hodin. Některé jsme využili v této práci a jejich detailnější popis přinášíme v příslušných kapitolách. Zajímavé přípravy a náměty k práci má na svých stránkách také Perimetr Institute for Theoretical Physics [26], nezávislé výzkumné středisko pro teoretickou fyziku v Ontariu v Kanadě. I jejich materiály jsme v této práci využili a mluvíme o nich v dalších kapitolách.

## 2. Přístupnost částicové fyziky pro žáky

Základní otázka, kterou je nutno si položit před tím, než přistoupíme k návrhům aktivit pro výuku částicové fyziky, zní:

**„Měli bychom učit částicovou fyziku na střední škole?“**

Ptáme se: „Jsou žáci schopni tuto látku pochopit? Mají na to kognitivní schopnosti a dostatečné předchozí znalosti a dovednosti (matematické i fyzikální)?“

Na jednu stranu je to část fyziky, která se právě rozvíjí a jejímuž vzrušujícímu vývoji přihlížíme v reálném čase, na stranu druhou je to učivo tak náročné a abstraktní, že je těžké žáky nezahltit nebo se nedopouštět přílišných zjednodušení.

Abychom mohli posoudit, zda vůbec má cenu se věnovat aktivitám pro středoškoláky, případně pro mladší žáky, sestavili jsme krátkou rešerši zdrojů týkajících se vývoje myšlení ve vztahu k částicovému složení hmoty, porozumění těmto tématům a ověřování, zda a jak je možné překonat překážky stojící porozumění v cestě.

Do rešerše byly zahrnuty vhodné výsledky z vyhledávání s klíčovými slovy jako „teaching particle physics“, „teaching quarks“, „why not teach quarks“. Vyhledávání v českém jazyce nepřineslo v tomto případě žádné výsledky.

Jak se vyvíjí porozumění složení hmoty u žáků v průběhu školní docházky? Článek *Progression in Children's Understanding of the Matter Concept from Elementary to High School* [27] vyznačuje pět stádií – nebo lépe řečeno vln – tohoto vývoje. Tento článek se věnuje představám, které si žáci utváří o složení hmoty. Žákům z různých ročníků byla předložena voda, jedlá soda a ocet a žáci měli popisovat substance, předpovídat, co se s nimi může stát po smíchání, a popisovat, jak pozorovali (a jak si vysvětlují) proměnu po smíchání. Článek byl napsán v USA a žáci zapojení do výzkumu pocházeli z amerických škol. V USA začínají docházku stejně jako v České republice, čísla ročníků by tedy měla odpovídat českým ročníkům, avšak musíme mít na paměti, že na amerických školách se obvykle žáci v ročnících odpovídajících naší základní škole (tj. do 8. ročníku) učí všechny přírodní vědy společně v rámci předmětu „Science“ a dále mají fyziku či chemii jen ti, kdo si ji zvolí (obvykle se jedná o žáky, kteří se dále chtějí věnovat přírodovědným oborům nebo si ji vyberou, aby pro svůj zvolený vysokoškolský obor získali potřebné kredity za přírodovědné předměty; pokud žáci nemíří tímto směrem, fyzice se nevěnují). Autoři vycházejí z neopiagetovského přístupu a vývoj připisují nejen vyspívání věkem, ale také kontextu školy (obsahu a způsobu výuky).

Při vývoji představy o složení hmoty nemůžeme hovořit přímo o stádiích, která žák prochází jako příčky žebříku v klasické piagetovské představě. Tento vývoj je mnohostranný, autoři rozlišují jeho čtyři aspekty. Jedná se o pojetí materiálů a látek, fyzikální vlastnosti a jejich změny, chemické vlastnosti a jejich změny a složení hmoty z částic. Vývoj v těchto aspektech je provázaný, stádia se překrývají a navzájem spolu souvisí. Pro různé materiály může navíc probíhat různě. Představme si tedy raději vlny, které se částečně překrývají a mísí. V první, přípravné fázi, si žáci tvoří a využívají první každodenní představy o hmotě. Do asi

sedmého ročníku žáci ovládnou princip zachování hmoty a mezi 8. až 12. ročníkem dochází k porozumění fyzikálním i chemickým vlastnostem hmoty a jejím změnám. Následující vlna již vyžaduje specializovaná studia, tedy právě hodiny fyziky či chemie. V něm se žákům dostane porozumění struktury a složení hmoty. Posledním krokem, nebo vlnou, které nemusí být dosaženo bez studií na vysoké škole, je vysvětlování a předpovídání toho, co se s hmotou děje, za pomoci vazeb mezi částicemi.

Protože vývoj není vázán pouze na věk, je nutné zapojit tyto poznatky i do procesu výuky. Je důležité učit tak, aby aspekty byly rozvíjeny souvisle a navzájem propojeně. Věk je však nezbytným doplňkem a autoři tedy nedoporučují, aby se o částicích učili i mladší žáci.

Další článek *Challenging the Science Curriculum Paradigm: Teaching Primary Children Atomic-Molecular Theory* [28] se shoduje s předchozím článkem (*Progression in Children's Understanding*, [27]) v tom, že kognitivní vývoj dítěte nepostupuje jako po žebříčku, ale že vede mnoha různými cestami a v různých oblastech může být na různé úrovni. Vychází však z toho, že spíše než na stádiu vývoje záleží na předchozích příležitostech k učení, kterých se dítěti dostalo. Vzhledem k tomu, že dnešní děti jsou obklopeny informacemi ze sdělovacích prostředků, ať už z knih, filmů, rádia, televize či internetu, jsou velmi časně vystaveny velkému množství informací, takže výzkumy ukazují, že již 7 až 13-leté děti vědí mnoho o molekulách či DNA. Autoři tedy navrhují využít plasticity mozku mezi pátým a desátým rokem i toho, že děti touží se dozvědět, jak a proč věci fungují, a představit dětem atomy a molekuly již dříve. Autory motivuje i to, že podle výzkumů ve věku, v němž mají žáci šanci se dle současných dokumentů o částicích něco naučit i ve škole, tedy okolo 13 – 14 roku, jejich kladný vztah k fyzice prudce klesá.

V rámci výzkumu učitel chemie v důchodu (který o sobě prohlašoval, že dokáže naučit o atomech a molekulách děti z Grade 3 and 4 – v Austrálii alternativa našeho 4. a 5. ročníku) odučil několik hodin na několika různých školách několika třídám. Pro účely výzkumu byly provedeny rozhovory s dětmi na začátku a na konci jeho intervence a jeden další rozhovor osm týdnů po jejím konci. Výsledky jejich pokusu ukázaly, že děti byly schopné se naučit i si zapamatovat nejdůležitější poznatky o molekulách a atomech. Nevíme mnoho o metodách dotyčného pedagoga, ale vidíme, že je možné dosáhnout toho, aby se děti základy o atomech a molekulách naučily již v tomto věku.

Jako zajímavost můžeme uvést, že někteří autoři se dokonce domnívají, že částicovou fyziku je možné učit již děti v mateřské školce. V článku *Preschoolers should learn particle physics* [29] autorka argumentuje, že čím častěji a čím dříve se děti s pojmy souvisejícími s fyzikou budou setkávat, tím bližší a lépe pochopitelné pro ně budou a méně žáků bude mít pocit, že je to příliš těžké, komplikované a zkrátka ne pro ně. Je si vědoma i limitací svého přístupu, jak píše: „Will preschoolers understand everything? No. Will they develop misunderstandings? Undoubtedly. Is that a problem? Absolutely not.“ [29] (překlad: Budou předškoláci všemu rozumět? Ne. Vytvoří se nesprávné představy? Zcela jistě. Je to problém? Ne.) Autorka tohoto článku chodí malým dětem o částicové fyzice vyprávět, mluví tedy z praxe.



Obrázek 2.1: Typografická ilustrace používaná v článku *Why not start with quarks?*. Zobrazuje rozdělení atomu na „prostor jádra“ a „prostor orbitalu“.

Kladným vztahem či nechtím k fyzice se zabýval článek *Particle Physics: An Essential and Engaging Part of the High School Physics Program* [30]. Autoři odučili tři bloky o částicové fyzice a provedli dotazníkové šetření před a po této intervenci. Co se úrovně znalostí týče, většina žáků (69 %) si osvojila vyučovanou látku výborně. Nás však může více zajímat, že u 26 % zúčastněných tyto lekce zvýšily zájem o fyziku a 76 % žáků se vyjádřilo, že částicová fyzika je cenným přínosem do hodin fyziky.

Praktický pohled do problematiky přináší článek *Can Grade-6 students understand quarks? Probing acceptance of the subatomic structure of matter with 12-year-olds* [31]. Na něj navazuje článek *Why not start with quarks? Teachers investigate a learning unit on the subatomic structure of matter with 12-year-olds* [32]. V rámci prvního výzkumu autoři vedli s žáky strukturované rozhovory 1:1, při nichž je učili o částicích. Aby se vyhnuli budování miskoncepce, soustředili se na neustálé zdůrazňování toho, že vše, o čem mluví, je jen model, používání pouze typografických ilustrací a na jazykovou přesnost. Správného pochopení modelové charakteristiky se snaží docílit např. častým užíváním a zdůrazňováním fráze „Tímto modelem popisujeme...“. Typografickou ilustraci vidíme na obrázku 2.1. Tyto ilustrace jsou tvořeny pouze slovy a písmeny. Pro přesnost ve vyjadřování zavedli autoři pojmy nucleus-space, orbital-space a particle system. Narozdíl od němčiny (v níž byl experiment prováděn) a angličtiny čeština nevytvoří tak snadno nové slovo, výrazy můžeme přeložit jako „prostor jádra“, „prostor orbitalu“ a „částicový systém“. Tato opatření by měla eliminovat či alespoň minimalizovat vznik častých miskoncepce (např. barevných částic s obličejíčky, jak je vidáme v učebnicích). Autoři formulovali 11 cílů, které se pokusili žákům předat během svého krátkého výkladu.

V první části výzkumu, na niž se soustředí první článek, rozhovory prováděli jeho autoři, v druhé části, již se zabývá druhý článek, rozhovory prováděli instruovaní učitelé. Obě části došly k závěru, že již dvanáctiletí žáci jsou schopni se mnohemu z částicové fyziky naučit a výsledky byly tím lepší, čím lépe se těm, kdo výklad vedli, dařilo držet se cílů, používat ilustrace a důsledně se držet zavedených termínů.

Můžeme se ptát, zda jsou žáci schopni porozumět tomu, že se bavíme pouze o modelech, přestože to budeme, v souladu s předchozí dvojicí článků, důsledně zdůrazňovat. Výzkum *Why Models are Advantageous to Learning Science* [33] provedený na žácích 8, 9, 10 a 11 ročníku amerických středních škol, který zkoumal, jak tito žáci rozumí vědeckým modelům, ukazuje, že

- většina žáků v tomto věku vidí modely jako reprezentaci idejí nebo principů, jak věci fungují;
- žáci rozumí tomu, že může existovat více modelů, které daný jev vysvětlí a že cílem modelu je vysvětlit fyzikální jevy
- žáci ví, že modely jsou založeny na konkrétních faktech, které podporují vysvětlovanou teorii
- žáci si jsou také vědomi toho, že model je přijat, pokud úspěšně vysvětluje výsledky experimentů i že se může v budoucnu změnit.

Starší a zkušenější žáci z výzkumu lépe chápali roli modelů ve vědě. Mladší žáci mohli mít pocit, že model je přesná kopie reality, že se nebude měnit nebo že existuje jen jeden způsob, jak nějaký jev modelovat. Můžeme z toho tedy usoudit, že se nemusíme bát modely s mladšími žáky používat, ale musíme mít tuto rizika na paměti.

Na otázku položenou v úvodu kapitoly si tedy můžeme odpovědět, že ač existují různé názory na to, zda doporučit učení mladších dětí o částicích, autoři se shodují, že je možné učit částicovou fyziku středoškoláky; žáci jsou schopni tuto látku pochopit, pokud se jim dobře podá, a může je to obohatit.

Společným jmenovatelem těchto článků, praktickým momentem využitelným ve výuce, je důraz na jazykovou přesnost (linguistic accuracy), vytváření modelů a formulaci kompaktní sady jednoduchých provázaných cílů.

V aktivitách v této práci jsme se snažili na jazykovou přesnost dbát průběžně. Snažíme se minimalizovat počet používaných pojmů a využívat jen ty, které máme bezpečně vysvětlené nebo je známe z předchozí výuky. Například v aktivitě s bublinovými komorami se soustředíme jen na několik částic a několik jevů, nepopisujeme všechny leptony ani všechny možné události, které

Modely využíváme zejména v aktivitách k Rutherfordově experimentu a ke kvarkům. Obě témata nedovolují provádět přímé experimenty v běžné třídě ve výuce, ale můžeme využít jednoduchý učební model. Riziku vytvoření miskoncepce (např. představy, že kvark má zelenou barvu tak, jako je zelená tráva) se samozřejmě nevyhneme. Abychom je minimalizovali, využíváme v našich aktivitách modely se staršími žáky a snažíme se zdůrazňovat rozdíly mezi modelem a realitou. Zejména v aktivitě k Rutherfordově experimentu věnujeme čas porovnávání modelu a skutečného pokusu, zamýšlíme se nad specifiky reálné situace a nad limity modelu. V aktivitě ke kvarkům na to není tolik prostoru, spoléháme na to, že žáci již mají s modely zkušenosti.

Cíle jsme stanovovali ke každé aktivitě zvlášť a snažili jsme se formulovat cíle i do materiálů pro studenty. Vzhledem k tomu, že prezentované aktivity netvoří kompaktní celek, nepokoušeli jsme se cíle provázat. Předpokládáme, že pedagog, který aktivitu bude chtít využít, sám zhodnotí, jak tyto cíle zapadají do jeho systému.

## 3. Rutherfordův rozptyl

Rutherfordovy experimenty hrály nezanedbatelnou roli ve vývoji našeho poznání atomu. Zmínka o nich je tedy nezbytnou součástí každé pokročilejší učebnice fyziky. Kromě zajímavého příběhu pedagogům poskytují i příležitost seznámit studenty s ideou zkoumání atomu a subatomárních částic.

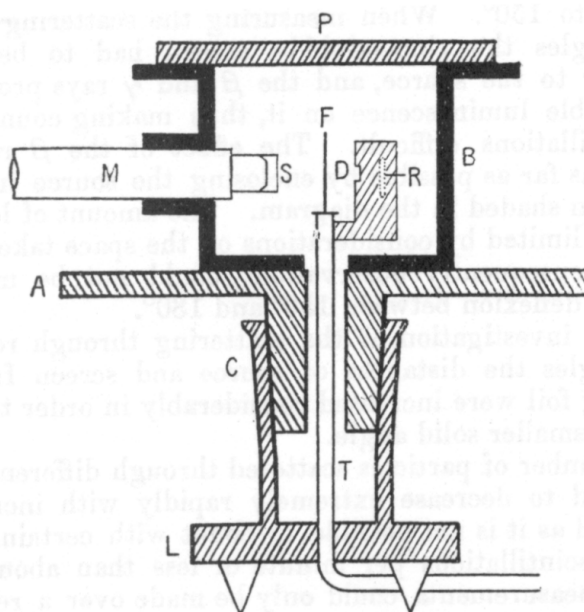
V rámci prezentované aktivity usilujeme o to, aby si žáci vytvořili představu o tom, jak fungují experimenty zabývající se částicemi. V průběhu hodiny žáci postupně pracují s modelem Rutherfordova experimentu, čtou informace o skutečném Rutherfordově experimentu a porovnávají model se skutečným pokusem.

### 3.1 Teoretická část

Hlavním cílem této aktivity není seznámit studenty se stavbou atomu, ale se způsobem zkoumání atomů. Snažíme se předat myšlenku, že zkoumáme něco, co nevidíme a s čím nemůžeme přímo interagovat. Jsme odkázáni na informace, které získáme tím, že ostřelujeme daný objekt částicemi a pozorujeme, co se s nimi děje, když projdou. Na podobném principu fungují i dnešní experimenty na urychlovačích částic.

Rutherfordův experiment obvykle vykládáme ve spojitosti s historií pohledu na atom. Mluvíme o Démokritovi, Johnu Daltonovi, představujeme studentům pudíngový model atomu, vysvětlíme, jak se od něj lišil jeho nástupce, planetární model atomu, nebo rovnou Bohrov model, a okomentujeme pokus, který Rutherfordovi umožnil objevit, že atom má jádro. V Thomsonově modelu je pozitivní náboj rovnoměrně rozprostřen po atomu a elektrony jsou rozmístěny uvnitř. I Thomson měl k dispozici pokusy podobné těm, z nichž vycházel Rutherford, zkoumal ozařování plátů malé tloušťky zářením  $\beta$ . Při vyhodnocování výsledků uvažoval, že „... the amount of deflection due to [the attraction of the positive electricity in the atom] will depend upon whether the positive electricity is uniformly distributed through the atom, or whether it is supposed to be divided into equal units, each occupying a finite volume probably much greater than the volume occupied by a corpuscle [electron].“ [34] Thomsonova teorie je založena na tom, že odchylka způsobená jedním rozptylem je malá a že struktura atomu nedovoluje velké odchylky. Měření Geigera a Marsdena ukázala, že některé částice (asi 1 z 20 000) měly odchylku větší než pravý úhel. Rutherford usoudil a vypočetl, že toto je možné jen v důsledku jediného střetu s atomem. Takový náraz může proběhnout pouze pokud „the diameter of the sphere of positive electricity is minute compared with the diameter of the sphere of influence of the atom.“ [35]

Průběh experimentu je poměrně známý. Na obrázku 3.1 vidíme schéma experimentu z původního článku Geigera a Marsdena [36]. Ve válcové silné kovové nádobě B, byl umístěn zdroj  $\alpha$  částic R, rozptylová fólie F a mikroskop M, k němuž byla pevně připevněna detekční fólie se sulfidem zinečnatým S. Nádoba byla připevněna na platformě A, kterou bylo možno otáčet tak, že zdroj s rozptylovou fólií zůstaly na místě. Pozorovatel sledoval pomocí mikroskopu záblesky na detekční fólii. Každý záblesk znamenal, že na S dopadla  $\alpha$  částice. Díky otočné platformě mohl pozorování provádět ze všech úhlů. [36]



Obrázek 3.1: Schéma experimentálního uspořádání pokusů Geigera a Marsdena

V rámci aktivity se snažíme o to, aby si studenti uvědomili podobnosti i odlišnosti experimentu a jeho modelu. Model je podobně sestavený – zdroj částic zajišťuje rampa, místo rozptylové fólie máme různé terče a namísto pohyblivého mikroskopu máme různé přihrádky atd. Na rozdíl od skutečného experimentu je ale na modelu možné poslat jednu kuličku-částici a pozorovat její dráhu, můžeme přiřadit konkrétnímu odchylení startovací pozici, terč je jen jeden a je poměrně velký, atd.

Fotografie modelu je uvedena v příručce pro učitele.

## 3.2 Rešeršní část

Model Rutherfordova experimentu pro 3D tisk jsme převzali ze stránek S'cool LAB [37]. Na těchto stránkách se nachází i návrhy aktivit, které s ním lze provádět, a vysvětlující text. Rozděluje se na kvalitativní, semi-quantitativní a kvantitativní přístup. Aktivita uvedená v této práci je inspirována zejména kvalitativním přístupem a přikládáme k ní návrhy pro rozšíření na kvantitativní. Kvalitativní přístup spočívá v hádání tvarů a soustředí se na rozdíl mezi pozorováním a závěry pozorování (observation and inference). V semi-quantitativním přístupu studenti zaznamenávají data a studují průměrné úhly odrazu. Tento přístup zmiňujeme v příručce pro učitele sekci Další aktivity. Kvantitativní přístup spočívá v porovnávání naměřených dat a předpovědí. Tento přístup jsme vyzkoušeli a jeho podrobnější popis se nachází v následující kapitole. Na základě získaných zkušeností jsme se rozhodli tento přístup nezařadit do materiálu pro studenty a učitele.

Public Engagement team v Science and Technology Facilities Council (Rada pro vědecká a technologická zařízení, vládní agentura Spojeného království) připravil podobnou aktivitu na modelování Rutherfordova experimentu. Aktivita je popsána v článku How do we know 'what is inside the atom'? – Simulating scattering experiments in the classroom [38]. Jako my využívají kuličky a terče z lega,

narozdíl od naší aktivity navíc kreslí dráhy kuličky na papír na poklopu zakrývacím terč. My jsme tuto část vynechali; ani se nám obvykle nedařilo zakreslovat dráhy přesně; ani tento postup neukazuje dobře to, co se v pokusu odehrávali. Geiger s Marsdenem neměli k dispozici celou dráhu  $\alpha$  částic, ale pouze jejich konečnou polohu. Autoři testovali aktivitu s učiteli na dvou workshopech, kde získala „overall satisfaction rating 4.6 out of 5 and 64% of teachers agreed and 36% strongly agreed that ‘I will use some things I’ve learned on this day in the classroom.’“.

Contemporary Physics Education Project (CPEP) navrhuje aktivitu velmi podobným způsobem. Základ je stejný, navrhuje však použít k vytvoření tvarů plastovou pěnu nebo dřevo a využít kuličky více velikostí (menší se hodí ke zkoumání detailů). Na stránkách CPEP bylo ještě v červnu 2021 možné stáhnout předpřipravený pracovní list i řešení pro učitele. Od té doby bohužel došlo k restrukturalizaci stránek a materiál již k dispozici není. [39]

Obě aktivity využívají poměrně složité tvary, které není jednoduché uhadnout. Pravděpodobně si studenti brzy zvyknou na zkoumání kuličkami, ale přesto se v naší aktivitě raději držíme jednodušších tvarů, aby zbyl prostor na diskuzi samotné podstaty skutečného experimentu

Jinou verzi Rutherfordova experimentu představuje článek *Rutherford’s Enlarged* [40]. Jedná se o krabici, v níž jsou na skleněné tyči procházející krabici nalepeny pingpongové míčky a celá krabice je poté ostřelována jinými pingpongovými míčky střílenými z „pistole na míčky“. Žáci zkoumají, kam míčky dopadají. Tuto realizaci, ačkoli je věrnější předloze, jsme zavrhlí jako příliš náročnou na materiál i výrobu a s nejistým výsledkem.

Zcela jiný přístup k problematice využil Perimeter Institute. Jejich aktivita se skládá z více částí – z pokusů se zelektrizovanými balónky, z pokusu s kovovou kuličkou kutálenou na základnu skleničky na víno, z pantomimy vysvětlující výsledky Rutherfordova experimentu a z kreslení diagramu toho, jak blízko se dostane  $\alpha$  částice k jádru a jak daleko bude nejbližší jádro. Do naší práce jsme jako návrh navazující aktivity přežali pantomimu a jako návrh pomůcky využití skleničky; o elektrostatičce předpokládáme, že žáci ovládají z dřívějších hodin, a hlubší debata o škálách v mikrosvětě není cílem naší aktivity. Materiál je součástí většího celku, jednou z dalších je aktivita o bublinové komoře, která bude zmíněna dále [41].

V češtině je tento materiál ještě zpracován v brožuře *Jaderné hrátky* Zdeňky Broklové [21]. Aktivita je zpracována jako návod pro samostatnou práci zájemce, obsahuje popis experimentu, v němž posíláme kuličky na sklenici a vyhodnocujeme, kam se odrazí, komentář Thomsonově modelu a ke změně, kterou Rutherfordův experiment vyvolal, a porovnání, čím se liší rozptyl v modelu a rozptyl na jádře.

### 3.3 Praktická část

Příručka pro učitele se nachází v příloze A. Obsahuje navrhovaný plán hodiny s komentáři k úkolům a jejich řešení, plán upravený pro distanční výuku, komentáře k použitým pomůckám, návrh navazujících aktivit a odkazy k materiálům, dvě verze pracovních listů a klíč k nim.

Aktivitu posuzoval kolega, který učí druhým rokem na základní škole fyziku.

Oceňoval hravě přiblížení jinak abstraktního konceptu, který z jeho zkušenosti byl pro žáky náročný na pochopení a plánuje aktivitu použít příští rok. Pro starší studenty (na gymnáziu) by volil pokusy s kuličkami jen jako demonstrační a soustředil by se na zpracování dat. Dovedl si i představit použití aktivity jako součásti praktických cvičení na střední škole a více zapojit práci s tabulkovým editorem. Příručku dále četla i vyučující z Církevního gymnázia v Plzni, která učí již přes 10 let. Aktivitu považuje za dobře přístupnou a dobře připravenou pro učitele. Oceňuje i dobře připravené a přehledné pracovní listy.

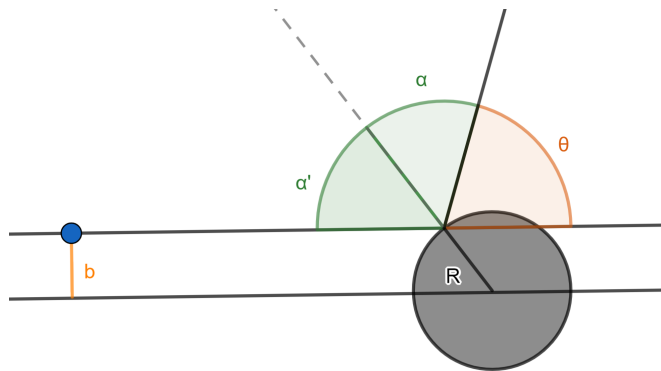
Propojit práci s tabulkovým editorem v příručce navrhujeme, ale není to součástí standardního plánu. Provedené pokusy s modelem podávaly poměrně nejisté výsledky, bylo zřejmé, že do pohybu kuliček se výrazně projeví všechny nepravdivosti na modelu, rotace kuličky atd. To však ale samozřejmě nemusí být nutně na škodu, pedagog toto může využít k další diskusi.

S'cool LAB má na stránkách i návrh, aby se žáci pokusili ověřit závislost úhlu rozptylu na energii u hyperboloidu. Rampa má tři výšky, z nichž lze kuličky pouštět. Tato aktivita nebyla zařazena, protože povrch vytisknutého hyperboloidu není dostatečně hladký na to, aby se nerovnosti výrazně neprojevíly na pohybu kuličky. Výsledky vycházely příliš náhodně na to, abychom tuto úlohu mohli doporučit.

Podarit se však může modelovat jiná aktivita navrhovaná S'cool LABem, rozptyl na tuhé kouli. Zde se ukazuje, že měření je méně náchylné na prostředí a výsledky se dají poměrně dobře opakovat. Po rozvaze tato aktivita nebyla zařazena do materiálu pro učitele, protože se příliš odchyluje od tématu, je však přiložena zde:

Pro rozptyl na tuhé kouli při  $b < R$  platí  $b = R \cos(\frac{\vartheta}{2})$ , případně pro větší jednoduchost  $b = R \sin \alpha$ , kde  $b$  je tzv. rozptylový parametr, vzdálenost kuličky od přímky, která je rovnoběžná s její dráhou a prochází středem koule,  $R$  je poloměr válce,  $\vartheta$  je úhel, o který se částice (kulička) odchýlí od přímého směru,  $\alpha = \frac{\pi - \vartheta}{2}$  (viz obrázek 3.2). S pomocí naměřených dat můžeme z tohoto vzorce zkusit vypočítat buď poloměr  $R$  podstavy válce, nebo  $b$ . Obojí můžeme pohodlně změřit pravítkem a vyzkoušet tak, jak přesný výsledek dostaneme. Výsledky cvičného experimentu můžeme vidět v obrázku 3.3. Zaznamenávali jsme, do kterých přihrádek padaly kuličky pro různá  $b$  (to Geiger s Marsdenem dělat nemohli), vybrali jsme úhel, do kterého dopadlo nejvíce kuliček a ten jsme prohlásili za  $\vartheta$ . Toto se nachází v horní části tabulky. V prostřední části jsme ze známých rozptylových parametrů počítali poloměr. Z dat jsme vynesli závislost  $b \approx \sin \alpha$ . Ve spodní části tabulky jsme se známým poloměrem určovali rozptylový parametr. Po zprůměrování vycházel v ukázkovém pokusu poloměr  $R$  poměrně dobře, rozptylový parametr  $b$  byl méně přesný.

S programem Logger Pro od Vernieru nebo Tracker od Physletu je ještě možné natáčet dráhu kuličky a vyznačit ji. Ani tato aktivita není přidána do pracovního listu, neboť spíše než princip Rutherfordova pokusu ukazuje, že kuličky se nechovají jako urychlené částice. Jak vypadá práce v programu s zaznamenanou dráhou kuličky je zachyceno na obrázku 3.4.



Obrázek 3.2: Rozptyl na kouli

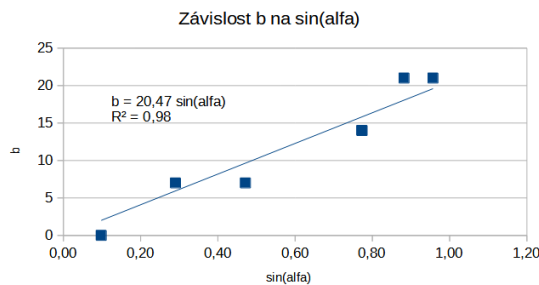
Drážka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	kontrolní součet
Theta [°]	168,75	146,25	123,75	101,25	78,75	56,25	33,75	11,25	11,25	33,75	56,25	78,75	101,25	123,75	146,25	168,75	
Theta [rad]	2,95	2,55	2,16	1,77	1,37	0,98	0,59	0,20	0,20	0,59	0,98	1,37	1,77	2,16	2,55	2,95	
b = 21	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12	9	3	3	1	0	0	30
b = 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12	8	4	2	0	0	30
b = 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	6	11	4	30
b = 0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	9	11	30
b = 7	3	3	12	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	30
b = 14	0	2	0	11	12	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
b = 21	0	0	0	3	8	12	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	30

Známe b, chceme znát R:

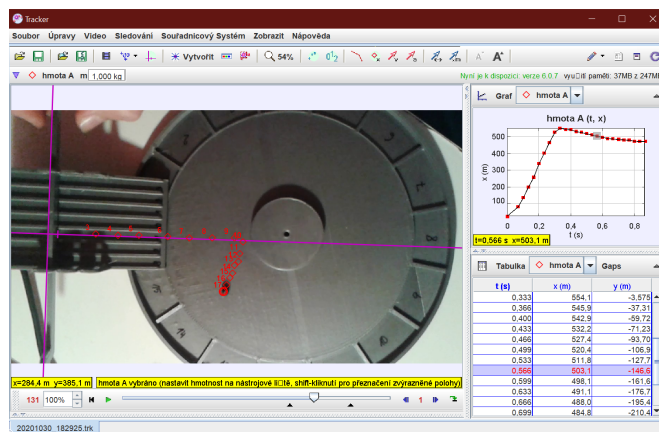
mm	Theta [rad]	Alfa [rad]	sin(alfa)	R
b = 21	0,59	1,28	0,96	21,94
b = 14	1,37	0,88	0,77	18,11
b = 7	2,55	0,29	0,29	24,11
b = 0	2,95	0,10	0,10	0,00
b = 7	2,16	0,49	0,47	14,85
b = 14	1,37	0,88	0,77	18,11
b = 21	0,98	1,08	0,88	23,81
průměr				20,16 mm

Známe R, chceme znát b:

R [mm]	Theta [rad]	Alfa [rad]	b [mm]
20	0,59	1,28	19,14
	1,37	0,88	15,46
	2,55	0,29	5,81
	2,95	0,10	1,96
	2,16	0,49	9,43
	1,37	0,88	15,46
	0,98	1,08	17,64



Obrázek 3.3: Příklad zpracování dat pro ověřování vzorce rozptylu na kouli na modelu z 3D tiskárny v programu LibreOffice Calc



Obrázek 3.4: Záznam z práce v programu Tracker: snímek z videa, v němž je vyznačena dráha kuličky

## 4. Kvarky

V této aktivitě se dostáváme až k nejmenším stavebním kamenům hmoty. Pokud bychom k jejich zkoumání chtěli přistoupit důkladně, vyžadovalo by to mnoho hodin studia. Ve zjednodušené verzi je však můžeme prezentovat i žákům v posledním ročníku základní školy či na střední škole.

Žáci se nejprve stručně seznámí se standardním modelem a částicemi, které obsahuje. Poté žáci pracují se skládačkou modelující skládání kvarků do hadronů. Dílky lze k sobě přiložit pouze určitým způsobem, který respektuje matematickou reprezentaci kvarků. Žáci zjišťují, které dílky lze složit dohromady a zaznamenávají vzniklé „částice“. Na základě svých výsledků pak formulují pravidla, kterými se složení hadronů řídí.

### 4.1 Teoretická část

V této aktivitě představujeme kvarky a základní interakce mezi nimi. Žáci se setkávají s třemi vůněmi kvarků,  $d$ ,  $u$ ,  $s$  (případně i  $c$ ,  $b$ ,  $t$ , využije-li učitel plnou verzi), zjišťují, jaký elektrický náboj který kvark nese a že existuje barva jako náboj silné interakce. Dále se žáci dozvídají, že hadrony se skládají z dvou nebo tří kvarků (tetrakvarky a pentakvarky neuvažujeme) tak, aby výsledná částice měla celočíselný elektrický náboj a byla nebarevná. Dílky skládačky neumožňují poskládat takovou částici, která by tato pravidla porušila; umožňují sestavit i částice, které nejsou pozorované (např. různé kombinace s top kvarkem). V žákovských materiálech nezmiňujeme, že částice může být superpozicí stavů ani že různé částice mohou mít stejné kvarkové složení, protože se kvarky nachází na různých energetických hladinách. V učitelské příručce se tato informace nachází, protože předpokládáme, že se na to studenti mohou zeptat. [1]

### 4.2 Rešeršní část

Pro prezentaci kvarků jsme vybrali aktivitu představenou v článku The Quark Puzzle [42], jehož autor Eric Gettrust navrhl „skládačku“ s dílky pro všechny kombinace vůní a barvy. Každý dílek je označen písmenem (vůně), barvou a elektrickým nábojem. Gettrust navrhl dílky tak, aby se z nich daly poskládat pouze částice, které splňují dvě podmínky pro hadrony, totiž že výsledná částice je bezbarvá a nese celočíselný elektrický náboj.

Autor v článku i rámcově navrhuje postup práce s touto pomůckou. Žáci by si nejdříve měli dílky prohlédnout a pokusit se najít všechna možná pravidla, podle nichž se dílky skládají. Pokračují poskládáním protonu a neutronu jen ze znalosti náboje těchto částic, což má motivovat hledání i jiných možných částic a jejich skládání za použití tabulky, která bude obsahovat informace o složení, jméně, symbolu, náboji, klidové hmotnosti a střední doby života. Tuto tabulku je pak možné použít k dalšímu učení o hmotnosti hadronů a kvarků a k diskusi o době rozpadu částic. Sám autor však podotýká, že se skládačka dá použít v mnoha různých věkových skupinách (již od žáků druhého stupně) mnoha různými způsoby.

Autor v úvodu článku také zmiňuje, že ideální skládačkou by byly trojdimenzionální dílky. Takovouto skládačku vytvořil team z CERN a popsal v článku 3D Printable Quark Puzzle [43]. Naši aktivitu bychom také mohli provádět s 3D dílky, ale usoudili jsme, že běžný učitel nebude chtít takovéto „hříčce“ obětovat tolik času a materiálu, aby si tiskl velké dílky, pokud vůbec bude mít přístup k 3D tiskárně, takže ji více nezmiňujeme. Na stránkách Quark Net a CERN S'cool lab lze také najít předpřipravené plány hodin v anglickém jazyce.

S'cool LAB má dokonce dvě verze pracovního listu, jednu pro samostatnější žáky, druhou s větší mírou podpory. „Scaffolded“ verze je více zaměřená na argumentaci, verzi žáci nejdříve poskládají proton podle návodu a poté se snaží poskládat co nejvíce jinak barevných kombinací protonu a zamýšlejí se nad tím, kolik kombinací existuje a jak to mohou ověřit. Poté totéž zopakují pro antiproton, neutron, antineutron a piony. V další části žáci hodnotí výroky podle toho, zda jsou pravdivé či nepravdivé a hledají důkazy pro své rozhodnutí. Nakonec porovnávají kousky skládačky a reálné částice. Ve verzi pro samostatnější žáky je pouze uveden cíl objevit pravidla, podle nichž se částice skládají a studenti dále pracují samostatně.

Quark Net má velmi podobný pracovní list, jen na začátku uvádí pravidla pro výpočet náboje částice a pro skládání barev kvarků (s tím, že se chovají jako barvy světla a výsledná barva kvarku musí vždy být bílá).

Naše aktivita se inspiruje těmito pracovními listy, ale v míře podpory se nacházíme někde mezi verzí pro samostatné studenty a „scaffolded“ verzí. Také neklademe takový důraz na argumentaci, ale ten může snadno dodat učitel sám, pokud na to v hodině bude mít prostor.

Další zdroje jsou stručně zmíněny a popsány v příručce pro učitele.

Modely z 3D tiskárny využívané v naší aktivitě jsme přejali z S'cool LABu, Jan Koupil, PhD., jen upravil jednu ze skládaček tak, aby antičástice byly dvoubarevné. Papírová verze je založená na skládačce z článku Erica Gettrusta [42]. Pracovní listy byly v malé míře inspirovány originálním článkem a pracovními listy S'cool Lab, jinak jsou původní.

## 4.3 Praktická část

Příručka pro učitele se nachází v příloze B. Obsahuje navrhovaný plán hodiny s komentáři k úkolům a jejich řešení, komentáře k variantám skládačky, návrh navazujících aktivit, text s teorií a dvě verze pracovních listů.

Aktivitu jsem zkoušela ve svých hodinách fyziky na Církevní střední škole Jana Boska (CSŠJB). S žačkami a žáky prvního ročníku oboru Ošetřovatelství jsme pilotáži této aktivity a experimentálních úloh věnovali několik vyučovacích hodin. Zkušenosti z této pilotáže jsem zapracovala do výsledné podoby aktivity. Největší problém, na který jsme narazili, bylo porozumění průvodního textu. Domnívám se, že tento problém bude specifický pro mé žáky, takže jsme text mírně upravili, ale nenahrazovali jsme jej ničím jiným. Experimentálně byl v pilotáži zařazen úkol, v němž žáci kreslili ilustraci k části textu. V průběhu pilotáže se ukázalo, že tento úkol nebyl přínosný, trval zbytečně dlouho, žáci nerozuměli tomu, co a jak mají kreslit, a výsledné obrázky nevykazovaly, že by se žáci zamýšleli nad textem, ani že by jim to pomohlo si přečtené informace zapamatovat. Úloha tedy byla vyřazena; mohla by se však hodit pro žáky, kteří mají lepší schopnosti práce

s textem nebo se s částicemi nesetkávají poprvé. Konečnou verzi pracovních listů posuzovala vyučující z Církevního gymnázia. Pracovní listy považuje za dobře připravené, vyzdvihla návodné otázky, které pomůžou učitelům rychle reagovat a žákům rychleji pochopit. Oceňuje odkazy na aktivity a hry, angličtina podle ní v současné době téměř nevádí, žáci na této úrovni už ji obvykle zvládají. Pouze by dílky nastříhala předem, aby byla větší časová rezerva na práci.

Aktivitu žáci začínají studiem standardního materiálu z přiloženého průvodního textu, z učebnice nebo z jiného zdroje dle preferencí pedagoga. Tento text vznikl v rámci prvního návrhu aktivity jako nahrávka, která měla vyplnit čas, který žáci strávili stříháním dílků skládačky – v první verzi trvalo stříhání přes 15 minut. Namluvená nahrávka pokryla značnou část této doby, ale nedařilo se dosáhnout potřebné kvality poslechu nahrávky. V dalších verzích se podařilo skládačku značně zjednodušit (namísto výstupků kopírujících tvar plastových dílků jsme využili trojúhelníčky různých odstínů na okrajích dílků), čímž se i výrazně zkrátil čas potřebný k jejímu vystřížení. Nahrávka tedy dále potřebná nebyla a byla z aktivity vypuštěna. Z textu k nahrávce vznikl průvodní text, zestručněný a přizpůsobený ke čtení. Původní verze skriptu nahrávky se nachází v příloze B.

Průvodní text byl po pilotáži ještě o něco zkrácen a v budoucnu bych pro své žáky pravděpodobně využila ještě kratší text nebo video. Žáci, kteří jsou zvyklí číst delší texty a vyhledávat v nich informace, s jednostránkovým průvodním textem nebudou tolik zápasit, ale ti s nižší čtenářskou gramotností a různými znevýhodněními mají velké problémy textu porozumět. Aktivita není vázána na způsob předání informací, učitel může provést vlastní výklad, text z učebnice nebo video dle svých preferencí.

Skládání dílků vyžaduje do jisté míry také geometrickou představivost. Studenti sice získají informace o tom, jakým způsobem dílky přikládat k sobě, složit mezon (z dvou kvarků) nedělalo problém téměř nikomu, ale zatímco zvolit vhodný způsob poskládání tří dílků pro některé studenty představovalo zajímavou geometrickou výzvu, pro jiné to bylo nepřekonatelnou překážkou. Strávili skládáním tohoto tvaru hodně času a mnohým to zatemňovalo smysl toho, co dělali. Ukázalo se tedy, že je nezbytné přidat do pracovního listu fotografii „bosonu“.

Skládačku, kterou používáme, je možné tisknout na 3D tiskárně nebo na papír. Specifika obou přístupů jsou v učitelské příručce popsána. Vzhledem k tomu, že tato práce byla z větší části psána během pandemie, uvažovali jsme i variantu pro distanční výuku a přiložili tipy k použití aktivity. Průběh je podobný, ale každý žák si tiskne a stříhá skládačku sám a diskuse probíhá v breakout rooms. Pracovní listy se liší pouze fotografiemi a přiloženou skládačkou. V práci se nachází obě verze, aby žáci měli fotografie odpovídající jejich verzi a abychom potenciálnímu uživateli usnadnili práci s tiskem (pracovní list je možné tisknout na jeden papír A4 oboustranně).

## 5. Bublinová komora

Tato aktivita se pokouší žákům přiblížit vyhodnocování fotografií z bublinové komory. První část hodiny je koncipována jako tzv. „skládankové učení“. Při něm žáci v expertních skupinách studují část textu, aby pak důležité informace z ní byli schopni přetlumočit a naučit své spolužáky, kteří četli jinou část. V druhé části hodiny žáci, kteří přečetli různé texty, společně odpovídají na otázky ohledně konkrétních fotografií z bublinových komor.

Bublinové komory již dávno nejsou běžnými detektory částic, ale přesto můžeme využít vzdělávací potenciál, který mají. K vyhodnocení základních jevů a událostí nepotřebujeme být experty na částicovou fyziku, vystačíme si se základními poznatky. Využijeme navíc celou řadu poznatků z různých částí fyziky.

### 5.1 Teoretická část

Vyhodnocování fotografií z bublinových komor vyžaduje široký záběr znalostí. Expertní skupiny pomohou trochu zmenšit záběr toho, co každý žák obsáhne, ale přesto si každý musí osvojit důležité myšlenky ze všech domén.

V textu o bublinových komorách se žáci seznámí s principem fungování bublinové komory. Pro pozdější vyhodnocování snímků je pro ně podstatné, aby si zapamatovali, že bublinová komora je vyplněná tekutým vodíkem<sup>1</sup>, tedy můžeme očekávat, že přilétající částice budou interagovat s protony a elektrony v náplni.

V textu o interakcích částic s bublinovou komorou si žáci připomínají zákon zachování náboje a zákon zachování hybnosti. Obojí jim může pomoci analyzovat stopy rozpadů a srážek a pochopit, proč se tam objevují právě konkrétní stopy. Společně s tím potřebují vědět, že částice bez náboje nezanechávají stopu, aby uměli vyhodnotit stopy, které se na fotografii objeví zdánlivě z ničeho, a pochopili, že ze srážek a rozpadů mohou vycházet i částice, jejichž stopu nevidíme. Žáci musí také znát a umět aplikovat Flemingovo pravidlo, aby byli schopní určit znaménko náboje částice ze stopy na obrázku.

Z přehledu částic by si žáci měli odnést, které částice jsou kladně nabitě, které záporně a které jsou neutrální, aby ke stopě mohli podle její křivosti přiřadit částici. Omezujeme se pouze na proton, neutron, elektron, pozitron, neutrino a foton.

### 5.2 Didaktická část

V této kapitole krátce představíme didaktický postup, které využíváme v aktivitě o bublinových komorách. Nejedná se o zcela běžnou techniku, takže představíme její fungování a ukážeme, jak je užitečná.

Autorem metody skládankového učení je Elliot Aronson a používá se od 70. let minulého století. Postup hodiny (jednotlivé kroky aplikace metody) přebíráme ze stránek *The Jigsaw Classroom* [44]. Je to metoda, která využívá práci s texty a vzájemnou kooperaci žáků. Protože v této hodině využíváme krátké texty, postup

---

<sup>1</sup>Bublinové komory mohou mít i jinou náplň a i v ní budou přilétající částice interagovat s částicemi náplně; vodík je ale nejčastější a snadno představitelný pro svou jednoduchost.

byl oproti originálu mírně zjednodušen. Více o tom, jak metodu aplikujeme, se nachází v Příručce pro učitele v příloze C.

Metoda je využívána jako součást programu Reading and Writing for Critical Thinking (RWCT), programu pro rozvoj kritického myšlení. Byla zvolena jako alternativa pokusů, které využíváme při badatelsky orientovaném přístupu k výuce. Podobně jako např. badatelsky orientovaný projekt Heuréka klade důraz na aktivní přístup žáků k výuce a přebírání odpovědnosti za vlastní učení, sdílení poznatků a samostatné myšlení žáků (viz myšlenkové a metodologické zásady Heuréky v disertační práci Ireny Dvořákové [45] a seznam charakteristik na stránkách programu RWTC [46]). RWTC se ale více soustředí na skupinovou práci, reflexi učebního procesu a těžiště výuky spočívá v práci s textem. Ve fyzice mikrosvěta je velmi obtížné zabývat se pokusy ve školní třídě, je tedy snadné (a občas nutné) výuku omezit pouze na výklad a texty; skládkové učení nám poskytuje metodu, jak s textem pracovat smysluplně, kreativně a podporovat jím vědecké myšlení.

Skládkovému učení ve fyzice se věnoval výzkum Cooperative learning, motivational effects, and student characteristics: An experimental study comparing cooperative learning and direct instruction in 12th grade physics classes [47]. Tento článek jsme zvolili, protože se jako jeden z mála věnuje skládkovému učení fyzice u žáků na střední škole. Jedna z lekcí, která se během výzkumu vyučovala, byla věnována rastrovacímu elektronovému mikroskopu, což je relativně blízké našemu tématu. Ukázalo se, že skládkové učení nemusí nutně vést k dosahování lepších výsledků, avšak studenti jsou aktivnější, více přemýšlí, mají vyšší vnitřní motivaci, cítí se způsobilější a hodiny jsou pro ně zajímavější. Ze skládkového učení více profitovali studenti, kteří začínali s menšími akademickými úspěchy, pravděpodobně právě kvůli pocitu způsobilosti, který díky této metodě získali. Jak potvrzuje i výzkum Effects of Jigsaw Cooperative Learning Strategy on Students' Achievement by Gender Differences in Secondary School Mathematics in Laikipia East District, Kenya [48], metoda skládkového učení může pomáhat srovnávat rozdíly ve výkonu mezi chlapci a dívkami.

### 5.3 Rešeršní část

Ve vydání časopisu The Physics Teacher z roku 1967 najdeme kratší článek Gary L. Petersena, učitele střední školy, ohledně použití nového experimentu ve výuce [49]. Použil vybavení prodávané firmou Welsh Scientific Company, o němž se mi nepodařilo nalézt informace nad rámec tohoto článku. V pokusu šlo o vyhodnocování fotografií z bublinové komory a v článku je popsáno, že vybavení se skládalo právě z fotografií z bublinových komor, zařízení pro jejich promítání na stůl, šablon pro měření křivosti a manuálu. Studenti počítali hybnost částic z drah částic na fotografiích za pomoci zmíněných šablon, dokazovali na fotografiích pružných srážek, že nevznikla neutrálně nabitá částice (přičemž dospěli až k rovnici  $E = (p^2c^2 + c^4m_0^2)^{1/2}$ ), a počítali ve fotografiích nepružně nabitě srážky hybnost a hmotnost neutrální částice. Autor článku uzavírá, že „All the students gained a feeling for how the results could have been obtained from stereoscopic views of collisions and some students obtained an appreciation for how one might determine the identities of unknown particles produced in a bubble chamber.“ [49] Tento experiment podle poznámky autora zabral šest vyučovacích dní (ne-

zmiňuje však délku vyučovacích hodin). Strávit tolik vyučovacího času nad dnes překonanou metodou není příliš atraktivní ani smysluplné, ale základní myšlenka bublinové komory je snadná a fotografie jsou velmi názorné. Bylo by tedy škoda tuto část historie fyziky zcela zapomenout. V aktivitě v této práci se tedy pokoušíme využít to, co se z fotografií z bublinových komor můžeme naučit, ale soustředíme jen na to nejpodstatnější

Na stránkách S'cool LAB najdeme k tématu vyhodnocování snímků z bublinových komor pracovní listy i odkazy na další, rozšiřující materiály [50]. Pracovní listy obsahují tři větší úlohy – jednu o tom jak funguje bublinová komora, jednu o elektricky nabitých částicích v magnetickém poli a jednu o identifikaci stop částic ve fotografii z bublinové komory. Pro naši aktivitu jsme přejali toto rozdělení, ale uzpůsobili jsme je pro fungování v rámci skládkového učení. Obrázky cyklů bublinové komory a rukou demonstrujících Flemingovo pravidlo v naší aktivitě jsou inspirovány obrázky z tohoto materiálu. Aktivita na stránkách S'cool LABu navíc obsahuje měření poloměrů křivosti stop částic z fotografie a počítání hybnosti částice ze změřeného údaje, počítání poloměru křivosti ze zadané hybnosti a rozbor snímku s rozpadem částice. Celá práce má podle uvedených pokynů zabrat jednu hodinu (60 minut). Ze zkušenosti s naší aktivitou se tento časový údaj zdá mírně podhodnocený.

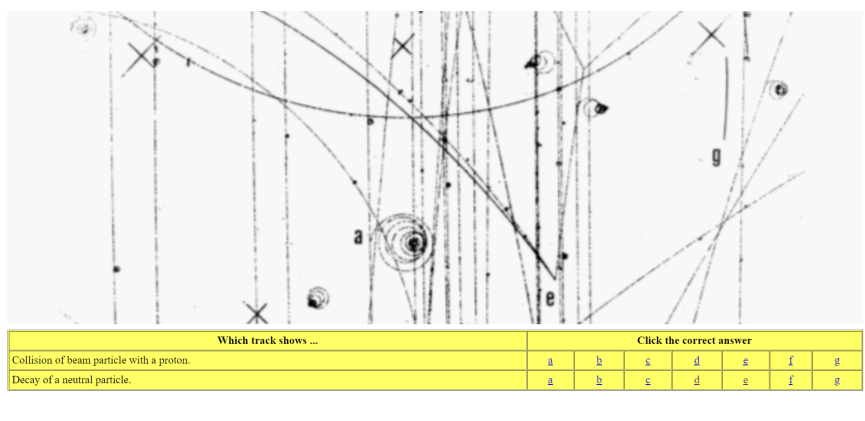
O něco stručnější a jednodušší verzi této aktivity publikovali později její autoři v článku *Track inspection: how to spot subatomic particles* [51]. Zde není pracovní list, jen fotografie a návodné otázky k nim. Článek je velmi podobný pracovnímu listu, jen otázek je méně a jsou snazší.

Další aktivitou CERNu, vytvořenou učiteli z High School Teachers Programme, je stránka Bubble Chambers Site [52]. Tam najdeme informace o částicové fyzice, o tom, jak funguje bublinová komora a zejména jak interpretovat fotografie z bublinové komory spolu s galerií obrázků s příklady částic a jejich stop. Porozumění je možné dále vyzkoušet na stránce Birmingham University [53], kde najdeme fotografie a odpovídáme na otázky, které se k nim vztahují, viz obrázek 5.1. Stránka je starší, ale je stále možné s ní pracovat.

Na téma bublinové komory má připravené pracovní listy i Perimeter Institute [41]. Příkládá k nim i půl hodinové video o mikrosvětě. Tyto listy zcela vynechávají princip fungování bublinových komor a informace o tom, jak se částice chovají v magnetickém poli, jejich náplní je pouze vyhodnocování fotografií. Otázky k fotografiím jsou do jisté míry návodné, ale přesto jsme nic z těchto listů nezařadili, protože podle našich zkušeností by nebylo možné úkoly vypracovat bez předchozí přípravy nebo intenzivního využití internetu. Mohli bychom je doporučit učitelům velmi pokročilých studentů. Příložené video pokrývá historii zkoumání atomu a subatomárních částic až po standardní model s důrazem na Higgsův boson a také LHC a způsob zkoumání srážek. Toto video naopak lze doporučit i studentům mladším. Aktivita se nachází v bloku aktivit společně s aktivitou na Rutherfordův pokus.

Poměrně obsažný zdroj se nachází na stránkách University of Birmingham. Vznikl v rámci Welsh Teachers Programme at CERN a představuje teorii potřebnou k čtení fotografií z bublinové komory, zahrnuje i řešené problémy. Nejedná se přímo o materiál pro vyučování, spíše materiál pro samostudium pedagogů. Z tohoto materiálu jsme přebrali fotografii v pracovním listu v úkolu 2 [54].

Zbylé fotografie v pracovním listě jsme přebrali ze stránek CERN [55]. Pra-



Obrázek 5.1: Ukázka kvízu s fotografiemi z bublinových komor

Pracovní list z S'cool Labu nám poskytuje další informace ohledně těchto fotografií a bublinové komory, v níž vznikly. Fotografie byly pořízeny 10. srpna 1972 v bublinové komoře v CERN. Do komory vlétal svazek protonů z protonového urychlovače PS s hybností 24 GeV/c. Magnetické pole 1,7 T míří ven z obrázků. Pro zajímavost můžeme dodat, že komora byla naplněna 1150 litry tekutého vodíku při teplotě 24 K (-247°C).

## 5.4 Praktická část

Příručka pro učitele se nachází v příloze C. Obsahuje plán hodiny, odkazy na další materiály spolu s QR kódy, kartičky pro rozlosování do skupinek a k podnícení zájmu o další vzdělávání, tři texty pro expertní skupiny, pracovní list pro domovské skupiny a klíč k úlohám. Na rozdíl od ostatních aktivit v této práci jsme zde nepovažovali za nutné přidat komentáře pro práci při distanční výuce, neboť skládkové učení se online prostředím poměrně snadno přizpůsobí – pracujeme jen s texty a obrázky a diskutujeme. Klademe tedy důraz na vysvětlení principu skládkového učení. Nepotřebujeme žádné zvláštní pomůcky, pouze vytištěné texty. Tisk by měl být barevný a dostatečně kvalitní. Abychom minimalizovali spotřebu papíru, pracovní list se vejde na jeden list A4 oboustranně.

Aktivita nebyla pilotovaná ve třídě. Části pracovního listu byly zkušební a konzultované s jednotlivci a prošly několika koly úprav. První verze byly více inspirované pracovním listem Perimeter Institute a ukázaly se jako příliš těžké. Zvolili jsme poté pozvolnější přístup pracovního listu z S'Cool LABu, který obsahuje teoretickou část a návodnější úlohy. Později jsme ještě rozpracovali textovou část, rozdělili ji na tři skupiny pro účely skládkového učení a přepracovali jsme pracovní úkoly tak, aby byly dostatečně návodné. Usilovali jsme o to, aby si všechny texty byly rovnocenné a studenti museli poskládat informace ze všech tří textů. To však vedlo k tomu, že se v žádném pracovním listu neobjevila fotografie z bublinové komory. Proto byl do pracovního listu přidán první úkol, v němž žáci identifikují částice, které zanechaly konkrétní stopu, a jež si mohou okamžitě zkontrolovat na další straně. Toto žáky seznámí s tím, co mají na fotografiích hledat a dodá jistotu v práci s dalšími úlohami. Výslednou příručku konzultovala vyučující z Církevního gymnázia, která ocenila, že vstupní texty i pracovní listy jsou zajímavé, ale aktivita je podle ní časově podhodnocená. Určitě by ji zadávala

až na střední škole. V tom s ní souhlasí kolega ze základní školy.

V pracovním listu v textu B využíváme Flemingovo pravidlo jinak, než jak je v českých učebnicích obvyklé. Způsob s třemi prsty namísto natažené dlaně jsme zvolili, protože se častěji používá v zahraničí a studenti se s ním mohou znovu potkat u vektorového součinu. Takto znázorněné pravidlo se nachází i v materiálech ze S'cool LAB. Obrázek, který v nich znázorňuje dané pravidlo, jsme převzali a upravili. V naší verzi sílu  $F$  ukazuje palec, nikoli prostředníček – pravidlo se používá oběma způsoby a takto lépe odpovídá využití ve vektorovém součinu<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup>viz např. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cross\\_product](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross_product)

# Závěr

V rámci rešerše jsme zjistili, že české RVP s výukou částicové fyziky nepočítá na základních nebo středních školách, prostor pro částice se může najít na gymnáziích. Většina kurikulárních dokumentů ze zahraničí, které jsme představili, se mikrosvětlem zabývají do podobné hloubky jako ty české.

Úrovní RVP odpovídá i obsah učebnic. Nejpodrobněji se fyzice mikrosvěta věnuje kniha *Fyzika mikrosvěta* ze série *Fyzika pro gymnázia*. Doplnující zdroje je možné dohledat na internetu, zejména pokud učitel a žáci ovládají dobře anglický jazyk.

V kapitole Přístupnost částicové fyziky pro žáky jsme se zaměřili na kognitivní schopnosti žáků a ptali jsme se, zda a jak je, z tohoto hlediska, vhodné učit částicovou fyziku na střední, potažmo základní škole. Vybrali jsme výzkumy zabývající se vývojem chápání hmoty a výzkumy zabývající se různými způsoby učení tohoto tématu. Z rešerše vyplynulo, že na střední škole je možné i vhodné toto téma učit. Společným jmenovatelem vybraných článků byla potřeba klást důraz na jazykovou přesnost, vytváření modelů a formulaci kompaktní sady jednoduchých provázaných cílů. Těchto zásad jsme se snažili při vytváření aktivit držet.

Po provedení prvotní rešerše jsme vybrali tři vhodná témata a dále prováděli rešerši literatury týkající se těchto témat. Na základě výsledků této rešerše jsme vytvořili tři aktivity pro výuku. Ke každé z nich existuje sada pracovních listů, plán hodiny a poznámky pro učitele. Ty obsahují potřebnou teorii, návod na provedení a poznámky k potřebným materiálům, jsou-li nějaké.

Nepodařilo se všechny aktivity otestovat v rámci vyučovací hodiny ve škole, ale každá byla vyzkoušena alespoň s jednotlivými žáky a posuzovali ji dva vyučující. Aktivita o kvarcích byla vyzkoušena s žáky a na základě toho přepracována, všechny tři aktivity zkoušeli před finalizováním jejich podoby jednotliví žáci a známí. Do značné míry se tak podařilo naplnit cíle práce.

V budoucnu by se na tuto práci dalo navázat dalšími aktivitami a vytvořením kompaktního celku aktivit pro výuku částicové fyziky. Po Rutherfordově experimentu by mohly následovat aktivity o struktuře atomu a o standardním modelu, navázala by již vyrobená aktivita o kvarcích. Pokračovat bychom mohli aktivitou o urychlovačích částic a na ni by navázal blok aktivit o detektorech: po naší aktivitě o bublinové komoře např. výroba mlžné komory ve třídě, pokusy s částicovou kamerou a krátké seznámení s moderními detektory částic.

# Literatura

- [1] D. Griffiths, *Introduction to Elementary Particles*. Wiley-VCH, 2008.
- [2] Národní ústav pro vzdělávání, *RVP pro základní vzdělávání*. 2022.  
Dostupné online:  
<https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcovy-vzdelavacici-program-pro-zakladni-vzdelavani-rvp-zv/>.  
Navštíveno 9. 11. 2021.
- [3] Národní ústav pro vzdělávání, *RVP pro gymnázia*. 2022. Dostupné online:  
<https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcove-vzdelavaci-programy-pro-gymnazia-rvp-g/>. Navštíveno 9. 11. 2021.
- [4] Národní ústav pro vzdělávání, *RVP pro učební obor Ošetrovatel*. 2020.  
Dostupné online:  
<https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcove-vzdelavaci-programy-stredniho-odborneho-vzdelavani-rvp-sov/rvp-sov-2020-zari/>Navštíveno 9. 11. 2021.
- [5] Štátny pedagogický ústav, *Štátný vzdelávací program pre druhý stupeň ZŠ, Človek a príroda*. Dostupné online:  
<https://www.statpedu.sk/sk/svp/statny-vzdelavaci-program/svp-druhy-stupen-zs/clovek-priroda/>.Navštíveno 11. 11. 2021.
- [6] Štátny pedagogický ústav, *Štátný vzdelávací program pre gymnáziá, Človek a príroda*. Dostupné online:  
<https://www.statpedu.sk/sk/svp/statny-vzdelavaci-program/statny-vzdelavaci-program-gymnazia/clovek-priroda/>. Navštíveno 11. 11. 2021.
- [7] Ministerstwo Edukacji i Nauki, *Podstawa programowa – Fizyka*. 2018.  
Dostupné online:  
<https://podstawaprogramowa.pl/Liceum-technikum/Fizyka> .  
Navštíveno 11. 11. 2021.
- [8] Government of Hungary, *National Core Curriculum*. 2014. Dostupné online: [https://ofi.oh.gov.hu/sites/default/files/ofipast/2014/04/NAT\\_2012\\_EN\\_final\\_2014marc14.pdf](https://ofi.oh.gov.hu/sites/default/files/ofipast/2014/04/NAT_2012_EN_final_2014marc14.pdf) . Navštíveno 11. 11. 2021.
- [9] OECD, *PISA 2018 Results (Volume I)*. 2019.
- [10] Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport Berlin, *Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe*. Dostupné online:  
<https://www.berlin.de/sen/bildung/unterricht/faecher-rahmenlehrplaene/rahmenlehrplaene/> . Navštíveno 11. 11. 2021.
- [11] Ministère de l'Éducation Nationale de la Jeunesse et des Sports, *Programmes d'enseignement*

*du cycle 2, 3, 4*. 2015. Dostupné online: <https://www.education.gouv.fr/au-bo-special-du-26-novembre-2015-programmes-d-enseignement-de-l-ecole-el>. Navštíveno 11. 11. 2021.

- [12] Ministry of Education and Research of Republic of Estonia, *National curriculum for basic schools, National curricula for upper secondary schools*. 2014. Appendix 4. Dostupné online: <https://www.hm.ee/en/national-curricula-2014> . Navštíveno 11. 11. 2021.
- [13] Cambridge International Examinations, *Syllabus, Cambridge International AS and A Level Physics*. 2016. Dostupné online: <https://www.cambridgeinternational.org/programmes-and-qualifications/cambridge-international-as-and-a-level-physics-9702/> . Navštíveno 11. 11. 2021.
- [14] K. Rauner a kolektiv autorů, *FYZIKA 9, učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. Nakladatelství Fraus, 2012.
- [15] M. Macháček, *Fyzika 9, učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. Prometheus, 2005.
- [16] I. Štoll, *Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvěta*. Prometheus, 2010.
- [17] I. Štoll, *Fyzika pro netechnické obory SOU a SOŠ*. Prometheus, 2018.
- [18] I. Šantavý a A. Trojánek, *Fyzika – příprava k přijímacím zkouškám na vysoké školy*. Prometheus, 2000.
- [19] *Metodický portál RVP*, Dostupné online: <https://rvp.cz>. Navštíveno 9. 11. 2021.
- [20] *Souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky*, Dostupné online: <https://vnuf.cz/sbornik/>. Navštíveno 9. 11. 2021.
- [21] Z. Koupilová, *Jaderné hrátky*, Dostupné online: <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/jaderné-hratky.pdf>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [22] Z. Koupilová, *Učíme jadernou fyziku*, Dostupné online: <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/ucimejadernoufyziku.pdf>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [23] *Particle Adventure*, Dostupné online: <https://particleadventure.org>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [24] *Quarked!*, Dostupné online: <http://www.quarked.org/>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [25] *S'cool LAB*, Dostupné online: <https://scoollab.web.cern.ch/>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [26] *Perimeter Institute*, Dostupné online: <https://resources.perimeterinstitute.ca/>. Navštíveno 21. 4. 2022.

- [27] X. Liu a K. Lesniak, *Progression in Children's Understanding of the Matter Concept from Elementary to High School*, Journal of Research in Science Teaching **43** (2006) no. 3, 320—347.  
<https://doi.org/10.1002/tea.20114>.
- [28] C. Haeusler a J. Donovan, *Challenging the Science Curriculum Paradigm: Teaching Primary Children Atomic-Molecular Theory*, Research in Science Education **50** (2020) 23–52.  
<https://doi.org/10.1007/s11165-017-9679-2>.
- [29] K. Gibson, *Preschoolers should learn particle physics*, Physics Today (2016) .  
<https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.5.2046/full/>.
- [30] C. Polen, *Particle Physics: An Essential and Engaging Part of the High School Physics Program*, The Physics Teacher **57** (2019) .  
<https://doi.org/10.1119/1.5098922>.
- [31] G. J. Wiener, S. M. Schmeling, a M. Hopf, *Can Grade-6 students understand quarks? Probing acceptance of the subatomic structure of matter with 12-year-olds* , European Journal of Science and Mathematics Education **3** (2015) no. 4, 313–322.
- [32] G. J. Wiener, S. M. Schmeling, a M. Hopf, *Why Not Start with Quarks? Teachers Investigate a Learning Unit on the Subatomic Structure of Matter with 12-Year-Olds*, European Journal of Science and Mathematics Education **5** (2017) no. 2, 134–157.  
<https://eric.ed.gov/?id=EJ1138177>.
- [33] G. Chittleborough a D. Treagust, *Why Models are Advantageous to Learning Science*, Educación Química **20** (01, 2009) 12–17.
- [34] J. J. Thomson, *On the Scattering of rapidly moving Electrified Particles*, Proceedings - Cambridge Philosophical Society Mathematical and physical sciences **15** (1908) 465–471.  
<https://www.biodiversitylibrary.org/item/97262>.
- [35] E. Rutherford, *The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of the Atom*, Philosophical Magazine v. **21** (May, 1911) 669–688.  
<https://www.lawebdefisica.com/arts/structureatom.pdf>.
- [36] H. Geiger a E. Marsden, *LXI. The laws of deflexion of a particles through large angles*, The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science **25** (1913) no. 148, 604–623,  
<https://doi.org/10.1080/14786440408634197>.
- [37] *S'cool LAB – Scattering Experiment*, Dostupné online:  
<https://scoollab.web.cern.ch/scattering-experiment>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [38] E. S. Cunningham, *How do we know what is 'inside the atom'?—Simulating scattering experiments in the classroom*, Physics Education **52** (jun, 2017) 044005. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa74f9>.

- [39] *CPEP - Scattering Experiment*, Dostupné online: [https://www.cpepphysics.org/Class\\_act\\_e.html](https://www.cpepphysics.org/Class_act_e.html). Navštíveno 21. 4. 2022.
- [40] F. Abd-El-Khalick, *Rutherford's enlarged: a content-embedded activity to teach about nature of science*, *Physics Education* **37** (jan, 2002) 64–68.
- [41] *Beyond the Atom: Remodelling Particle Physics, Second Edition*, Dostupné online: <https://resources.perimeterinstitute.ca/products/beyond-the-atom-remodelling-particle-physics?variant=40802062172338>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [42] E. Gettrust, *The Quark Puzzle: A Novel Approach to Visualizing the Color Symmetries of Quarks*, *The Physics Teacher* **48** (2010) no. 5, 312–315, <https://doi.org/10.1119/1.3393062>.
- [43] L. McGinness, S. Dührkoop, J. Woithe, a A. Jansky, *3D Printable Quark Puzzle: A Model to Build Your Own Particle Systems*, *The Physics Teacher* **57** (2019) no. 8, 526–528, <https://doi.org/10.1119/1.5131116>.
- [44] *The Jigsaw Classroom*, Dostupné online: <https://www.jigsaw.org/>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [45] I. Dvořáková, *Fyzikální vzdělávání žáků a učitelů v projektu Heuréka*. PhD thesis, Univerzita Karlova v Praze, 2011. <https://kdf.mff.cuni.cz/lide/dvorakova/Disertace.pdf>.
- [46] *Reading and Writing for Critical Thinking*, Dostupné online: <https://kritickemysleni.cz/o-programu/>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [47] M. Hänze a R. Berger, *Cooperative learning, motivational effects, and student characteristics: An experimental study comparing cooperative learning and direct instruction in 12th grade physics classes*, *Learning and Instruction* **17** (2007) no. 1, 29–41. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959475206001174>.
- [48] N. W. Mbacho a J. M. Changeiywo, *Effects of Jigsaw Cooperative Learning Strategy on Students' Achievement by Gender Differences in Secondary School Mathematics in Laikipia East District, Kenya*, *Journal of Education and Practice* **4** (2013) no. 16, .
- [49] G. L. Petersen, *NOTES: An Experiment for High School Students Involving the Analysis of Bubble Chamber Photographs of Collisions Between Elementary Particles*, *The Physics Teacher* **5** (1967) no. 8, 389–392, <https://doi.org/10.1119/1.2351233>.
- [50] *S'cool LAB – Bubble chamber*, Dostupné online: <https://scoollab.web.cern.ch/bubble-chamber-pictures-classroom>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [51] J. Woithe, R. Schmidt, a F. Naumann, *Track inspection: how to spot subatomic particles*, *Science in School* (2019) .

<https://www.scienceinschool.org/article/2019/track-inspection-how-spot-subatomic-particles/>.

- [52] *Bubble Chambers Site*, Dostupné online: [http://hst-archive.web.cern.ch/archiv/HST2005/bubble\\_chambers/BCwebsite/index.htm](http://hst-archive.web.cern.ch/archiv/HST2005/bubble_chambers/BCwebsite/index.htm). Navštíveno 21. 4. 2022.
- [53] *Bubble Chamber*, Dostupné online: <http://epweb2.ph.bham.ac.uk/user/watkins/seeweb/BubbleChamber.htm>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [54] G. T. Jones, *An Introduction to Particle Physics and Detector Concepts*, Dostupné online: <http://www.ep.ph.bham.ac.uk/general/outreach/bcbook1etnov2015mod.pdf>. Navštíveno 21. 4. 2022.
- [55] *Bubble Chamber pictures for education*, Dostupné online: <https://cds.cern.ch/record/2307419>. Navštíveno 21. 4. 2022.

# Seznam obrázků

2.1	Typografická ilustrace používaná v článku <i>Why not start with quarks?</i> . Zobrazuje rozdělení atomu na „prostor jádra“ a „prostor orbitalu“.	12
3.1	Schéma experimentálního uspořádání pokusů Geigera a Marsdena	15
3.2	Rozptyl na kouli . . . . .	18
3.3	Příklad zpracování dat pro ověřování vzorce rozptylu na kouli na modelu z 3D tiskárny v programu LibreOffice Calc . . . . .	18
3.4	Záznam z práce v programu Tracker: snímek z videa, v němž je vyznačena dráha kuličky . . . . .	18
5.1	Ukázka kvízu s fotografiemi z bublinových komor . . . . .	25

# A. Příloha – aktivita

## Rutherfordův experiment

# Učitel'ská příručka

## Rutherfordův experiment

V této aktivitě se budeme soustředit na slavný Rutherfordův pokus. Chceme, aby žáci prozkoumali model tohoto pokusu a uvědomili si přitom, jak se liší pokusy s částicemi, které jsou velikosti atomů nebo i menší, od pokusů v našem běžném světě.

**Téma:** Rutherfordův rozptylový experiment

**Cíle:** Žáci popíší Rutherfordův experiment, vyjmenují jeho části, demonstrují na modelu, na jakém principu experiment funguje, porovnájí model a skutečný experiment.

**Časová náročnost:** cca 60 min

**Pomůcky:** pracovní list pro každého žáka/každou dvojici, vytištěné plastové díly z 3D tiskárny a kuličky (např. broky o průměru 4,5 mm), nebo vlastní sada, táč na podložení

**Předchozí znalosti:** zákon odrazu, elektrostatika (odpuzování a přitahování nábojů)

**Věková kategorie:** 9. třída nebo střední škola

## Obsah

<b>1 Průběh hodiny</b>	<b>2</b>
On-line hodina . . . . .	5
<b>2 Pomůcky</b>	<b>7</b>
<b>3 Další aktivity</b>	<b>10</b>
<b>4 QR kódy pro rychlý přístup</b>	<b>11</b>
<b>Pracovní listy</b>	<b>12</b>

Úvodem je nutno poznamenat, že k této úloze jde přistoupit dvěma způsoby. Jeden ze způsobů je kvalitativní, jde nám o to, aby si žáci zkusili a prožili, že zkoumáme něco, co nevidíme. V tomto přístupu se vytrácí moment toho, že zkoumání atomů vyžaduje měření, která jsou prováděna a vyhodnocována s neuvěřitelnou přesností. Druhý ze způsobů je kvantitativní, kdy s žáky měření pečlivě vyhodnocujeme a naměřené hodnoty interpretujeme. Hrozí však to, že se úloha stane nesmyslným cvičením s čísly, nebo že naměřená data nebudou dostatečně přesná na to, aby vyšel jasný výsledek. V tomto textu je zvolen první přístup; námět k práci v rámci kvantitativního přístupu jsou v sekci Další materiály.

## 1 Průběh hodiny

1. **Příprava před vyučovací hodinou:** Je třeba vytisknout pracovní list pro každého žáka (pracovní listy včetně klíče se nachází na konci této příručky), připravit pomůcky pro experimenty. Žáci mohou pracovat ve trojicích či čtveřicích a každá skupina bude potřebovat jednu sadu pomůcek. Je možné nachystat předem každé skupince pod zakrývající destičku vybraný tvar, aby v prvním úkolu pracovala celá skupina společně na tomtéž a zbylé tvary zakryjte. Jinou variantou je, že tvar ukryje jeden z žáků a zbytek skupiny bude poté zkoumat, co bylo ukryto.
2. **Úvodní část hodiny:** (5 min) Seznámíme žáky s cílem hodiny, rozdělíme je do skupin a vysvětlíme zásady práce (přiměřená hlasitost, opatrné zacházení s kuličkami, modely atd.).
3. **Experimentální část hodiny:** Začínáme pracovat s pracovním listem. V rámci prvního úkolu (5–10 min) pracovního listu ověříme, zda žáci znají zákon odrazu. Tato znalost je pro další práci naprosto klíčová, proto tento úkol dělá (nebo alespoň rozmýšlí) každý žák samostatně a výsledky následně porovnává ve skupině. Máme-li pochyby, zda toto všichni žáci ovládnou, zkontrolujeme po prodiskutování prvního úkolu ve skupinách řešení společně. Tento úkol i diskusi je možné udělat již předem; žáci při tom alespoň nebudou rozptylováni přítomností kuliček a modelů na stole.

V rámci druhého úkolu (15–20 min) žáci pracují s modelem, pouští kuličky a odhadují podle jejich drah, jaký tvar má objekt pod poklopem. Současně s tím odpovídají na otázky v pracovním listě. Tam je prostor pro dvě kola hádání, ale pokud to žáky baví a máme čas, je možné udělat kol více.

Pokud při procházení třídou vidíte, že některá skupina si neví rady s odpověďmi nebo tápe, zde jsou otázky, kterými je možné jim napovědět:

- Jak maximálně velký je objekt po poklopem? Jak malý? Pokud tato kulička byla puštěná z této drážky a skončila v této přihrádce, jaká asi byla její dráha?
- Můžeme říci, z jakého materiálu objekt určitě je, nebo z jakého materiálu určitě není? Můžeme říci, jakou má ten objekt barvu?
- Jak byste popsali někomu, kdo váš pokus neviděl, jak jste došli k předchozímu závěru? Doplňte větu: Když . . . , tak . . . , protože . . . .

**Poznámka k hodnocení:** V rámci této aktivity není nutné, aby žáci skutečně správně odhalili, který tvar se pod poklopem skrývá. Důležité je, aby postupovali logicky a dokázali odůvodnit, proč se rozhodují pro tu kterou variantu.

4. **Samostatné čtení:** (5–10 min) V odstavci jsou shrnuty základní informace o Rutherfordově experimentu. Žáci by měli článek alespoň zběžně přečíst před tím, než se posunou na další aktivitu, jinak nebudou schopni odpovědět na otázky. Čtení je možné nahradit vlastním výkladem, videem, nebo jiným článkem. Odkazy na vhodné materiály najdete v části pro online hodinu.
5. **Porovnávání experimentu s kuličkami a Rutherfordova experimentu:** (10–15 min) Tyto otázky slouží k tomu, aby se žáci zamysleli nad principem skutečného Rutherfordova pokusu a našeho modelování pomocí kuliček, aby předchozí část nevyzněla pouze jako hraní s kuličkami. Pokud pracujeme s vlastním modelem, ne s modelem z 3D tiskárny, a nemáme terč tvaru hyperboloidu nebo alespoň kulatý, vynecháváme otázku „Který z objektů v soupravě modeluje nejlépe atomové jádro? Proč právě ten?“

Žáci by měli nejprve zkusit vymyslet odpovědi sami a poté je porovnat ve skupině. Samostatná práce zde slouží k omezení toho, že někteří členové skupiny jen opisují, co vymyslí ostatní, jiní se nedostanou ke slovu, skupina bez přemýšlení použije první, byť chybnou myšlenku atp.

Pokud při procházení třídou vidíte, že některá skupina si neví rady s odpověďmi nebo míří špatným směrem, můžeme napovědět například takto:

- Jaké součásti má náš experiment a jaké součásti měl Rutherfordův experiment? Co „vystřelujeme“ my? Na co naráží naše kuličky a do čeho narážely částice v Rutherfordově experimentu? Kdo je v roli Rutherfordova spolupracovníka?
- Jaká síla působí mezi přilétající částicí a jádrem zlata ve fólii? Je jejich interakce stejná jako interakce kuličky a našeho terče? Rutherfordovi

většina kuliček prošla jen mírně rozptýlená, je to tak i v našem pokusu? Je jeden terč dobré přiblížení situace se zlatou fólií? Dotknou se vystřelená  $\alpha$  částice a jádro?

6. **Evaluační a závěrečná část hodiny:** (5–10 min) Na konci hodiny je potřeba shrnout odpovědi na otázky z úkolu 4. Pokud zbývá dostatek času, nechme skupiny sdílet jejich nápady. Můžeme se žáků postupně ptát na odpovědi, či skupiny vyzvat, aby odpovědi na otázky postupně psaly na tabuli; nebo aby je napsaly na papíry, které poté připevníme na tabuli. Můžeme také nechat dvě skupiny porovnat jejich odpovědi a vybrat či přetvořit odpovědi tak, aby se na nich obě skupiny shodly.

Dále můžeme nechat žáky také popsat, jak hádali tvar objektu, jaké nápady měli, jak a proč je potvrdili nebo zavrhli. Klademe důraz na to, že je v tomto případě důležitý postup a nikoli výsledek (při přesnosti, kterou model umožňuje, je správný výsledek do značné míry dílem náhody).

## Online hodina

Události školních let 2019/2020 a 2020/2021 nás naučily, že je nezbytné počítat i s možnostmi, že toto téma budeme probírat v rámci distanční výuky. Verze přizpůsobená online prostředí je samozřejmě ochuzená o cvrknání kuliček, ale i tak je možné pomocí videa a modelů aktivitu provést. Využijeme pracovní list pro online výuku a upravenou verzi přípravy hodiny.

1. **Příprava na hodinu:** Kromě rozeslání pracovních listů žákům je potřeba rozmyslet, jak jim budeme sdílet odkazy, jak je budeme rozdělovat do breakout rooms (skupinových místností), jak a zda budeme provádět hlasování a jak budou sdílet své myšlenky.
2. **Úvod hodiny:** Seznámíme žáky s cílem hodiny a vysvětlíme průběh práce (samostatná práce, rozdělení do breakout rooms, sdílení na závěr. . .)
3. **Úvod do práce:** Probíhá stejně jako verze v prezenční výuce, ale pokud se nehodí rozdělovat žáky do skupin, kontrolu provedeme se všemi společně. Alternativně můžeme vytvořit hlasování nebo využít prostředí, kde žáci formulují otevřené odpovědi, např. whiteboard.fi<sup>1</sup>, Nearpod<sup>2</sup> apod.
4. **Pracovní část:** Tato část je nejvíce upravena; vynecháváme skupinovou práci, žáci pracují samostatně. Namísto pouštění kuliček pustíme video<sup>3</sup> a necháváme žáky hádat, jaký tvar se skrývá pod poklopem. V první části videa vidíme pouštění kuliček na zakrytý tvar, v druhé části videa totéž s odkrytým tvarem. Ve třetí části videa je natočené, jak by to vypadalo, kdybychom místo kuliček pustili golfový míček; to má přivést žáky k myšlence, že pro zkoumání něčeho, co je menší než atom, musíme jako „sondu“ použít něco ještě menšího. Po první části hádáme tvar; v Nearpodu či podobném systému můžeme provést hádání přímo v rámci videa. Navrhujeme možnosti a žáci hlasují.

Dále můžeme žákům dát k dispozici odkazy k modelům v GeoGebře a nechat je hádat tvary ukryté pod „poklopy“. V těchto appletech je simulováno rozložení experimentu: startovací pozice, poklop, kruhové stínítko. Dráha částice je vyznačena přímkou. Pohybujeme červeným bodem označeným  $\text{Částice}_{\text{start}}$ , čímž měníme pozici, odkud částici vypouštíme. Na zeleném stínítku pak pozorujeme bod označený  $\text{Částice}_{\text{stínítko}}$ , označující místo, kam částice „dopadne“. Po odhadu je možné myší odtáhnout „poklop“, pod nímž se skrývá hledaný tvar. Tato úloha se může zdát těžší, ale její výhodou je, že se „částice“ odráží přesně podle zákona odrazu, narozdíl od reálné

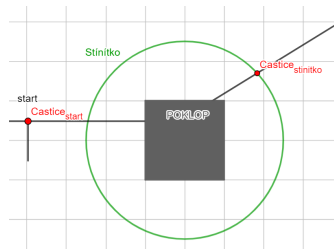
---

<sup>1</sup>[whiteboard.fi](http://whiteboard.fi)

<sup>2</sup>[nearpod.com](http://nearpod.com)

<sup>3</sup><https://youtu.be/z1mnpGHa4gw>, viz QR kód na obrázku 14

kuličky na ně nic dalšího. U kuličky musíme uvažovat i valivý odpor, rotaci, nerovnosti podložky atd., zde rušivé vlivy odpadají. Odkazy k modelům se nachází v poznámce<sup>4</sup>, QR kódy pro rychlý přístup jsou na obrázcích 15, 16 a 17.



Obrázek 1: Interaktivní model experimentu v GeoGebře

5. **Samostatné čtení:** Probíhá jako při hodině samostatně. Můžeme však i využít on-line prostředí a nechat žáky si informace vyhledat. Vhodné odkazy v češtině jsou například Khanova škola<sup>5</sup>, Wikipedie<sup>6</sup>, poněkud náročnější článek je pak na Encyklopedii fyziky<sup>7</sup>, jako součást vývoje pohledu na atom je pokus popisován také na stránkách ČEZ<sup>8</sup>. Můžeme najít i kratší vizualizaci pokusu (s anglickými popisky) na YouTube<sup>9</sup>.
6. **Porovnávání modelu a skutečného Rutherfordova experimentu:** Na otázky odpovídají žáci opět sami. V tuto chvíli už je však rozdělujeme do breakout rooms, aby odpovědi mohli prodiskutovat a vytvořit společné odpovědi skupiny.
7. **Evaluační a uzavírací část:** Na konci hodiny je potřeba shrnout odpovědi na otázky z úkolu 4. Pokud máme čas, nechme skupiny sdílet nápady společně. Opět můžeme použít Nearpod, Jamboard<sup>10</sup>, Microsoft Whiteboard<sup>11</sup>, případně cokoli jiného podle zvyklostí školy. Můžeme se žáků postupně ptát na jejich odpovědi, či skupiny vyzvat, aby odpovědi na otázky postupně psali do sdíleného dokumentu.

<sup>4</sup><https://www.geogebra.org/m/wpawjsr8>, <https://www.geogebra.org/m/mabefzb9>  
a <https://www.geogebra.org/m/r7n4dchr>

<sup>5</sup><https://cs.khanacademy.org/science/obecna-chemie/xefd2aace53b0e2de:atomy-a-jejich-vlastnosti/xefd2aace53b0e2de:hmotnostni-spektrometrie-prvku/a/discovery-of-the-electron-and-nucleus>, viz QR kód na obrázku 6

<sup>6</sup>[https://cs.wikipedia.org/wiki/Rutherford%C5%AFv\\_experiment](https://cs.wikipedia.org/wiki/Rutherford%C5%AFv_experiment), viz QR kód na obrázku 7

<sup>7</sup><http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/710-objev-atomoveho-jadra>, viz QR kód na obrázku 8

<sup>8</sup><https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k12.htm>, viz QR kód na obrázku 9

<sup>9</sup>[https://www.youtube.com/channel/UCyDtSWxCsFb07RGgw5y\\_zVQ/featured](https://www.youtube.com/channel/UCyDtSWxCsFb07RGgw5y_zVQ/featured), video Indian Institute of Technology Bombay, viz QR kód na obrázku 10

<sup>10</sup><https://jamboard.google.com/>

<sup>11</sup><https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365/microsoft-whiteboard/digital-whiteboard-app>

## 2 Pomůcky

S'cool lab, web určený učitelům provozovaný CERN, připravil model, který je možné vytisknout na 3D tiskárně. Získáme tak pěkné sady, k nim je potřeba pouze dodat kuličky (průměr 5 mm), abychom je mohli používat, viz obrázek 2. Můžeme přidat ták, abychom minimalizovali ztráty kuliček. Model pro 3D tisk se nachází na stránkách Thingiverse<sup>12</sup> (pro rychlý přístup viz QR kód na obr. 5).



Obrázek 2: Model experimentu z 3D tiskárny; v popředí vidíme různé tvary terčů, dále rozjezdovou skluzavku a základnu s očíslovanými „příhradkami“; terč ve tvaru kruhu je schovaný pod poklopem

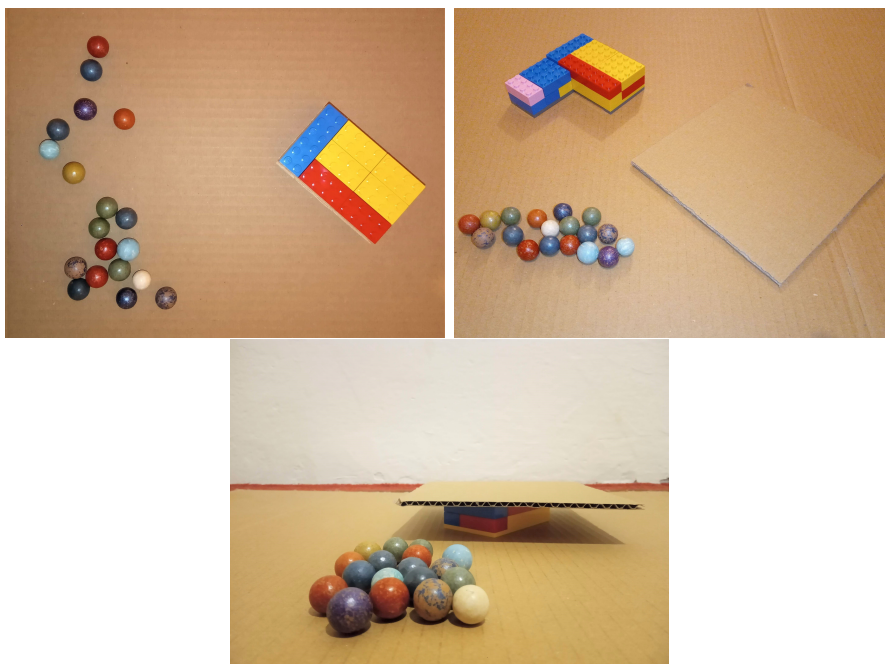
I bez přístupu k 3D tiskárně si můžeme sady pro model Rutherfordova experimentu vyrobit. Pro vlastní výrobu budeme potřebovat pro každou skupinu:

- **Kuličky**, např. obyčejné kuličky na cvrnkání, broky, ložiskové kuličky, kuličky do praku...; kuličky musí být tvrdé a spíše těžší, aby srážky byly co nejpružnější.
- **Terče**, jejichž tvar budou žáci hádat. Můžeme je nařezat ze dřeva nebo poskládat z lega, využít vhodné dětské stavebnice atd. Volíme tvrdší materiály, opět aby docházelo k pružným srážkám. Souprava z 3D tiskárny obsahuje objekt s půdorysem kruhu, čtverce a trojúhelníku a rotační hyperboloid (můžeme zkusit využít skleničku na víno a upravit nájezd na její podstavu modelínou, ale není to nutné), dobře funguje i tvar „L“ nebo obdélník s výřezem. Terč musí být v porovnání s kuličkami dostatečně velký – viz obr. 3.

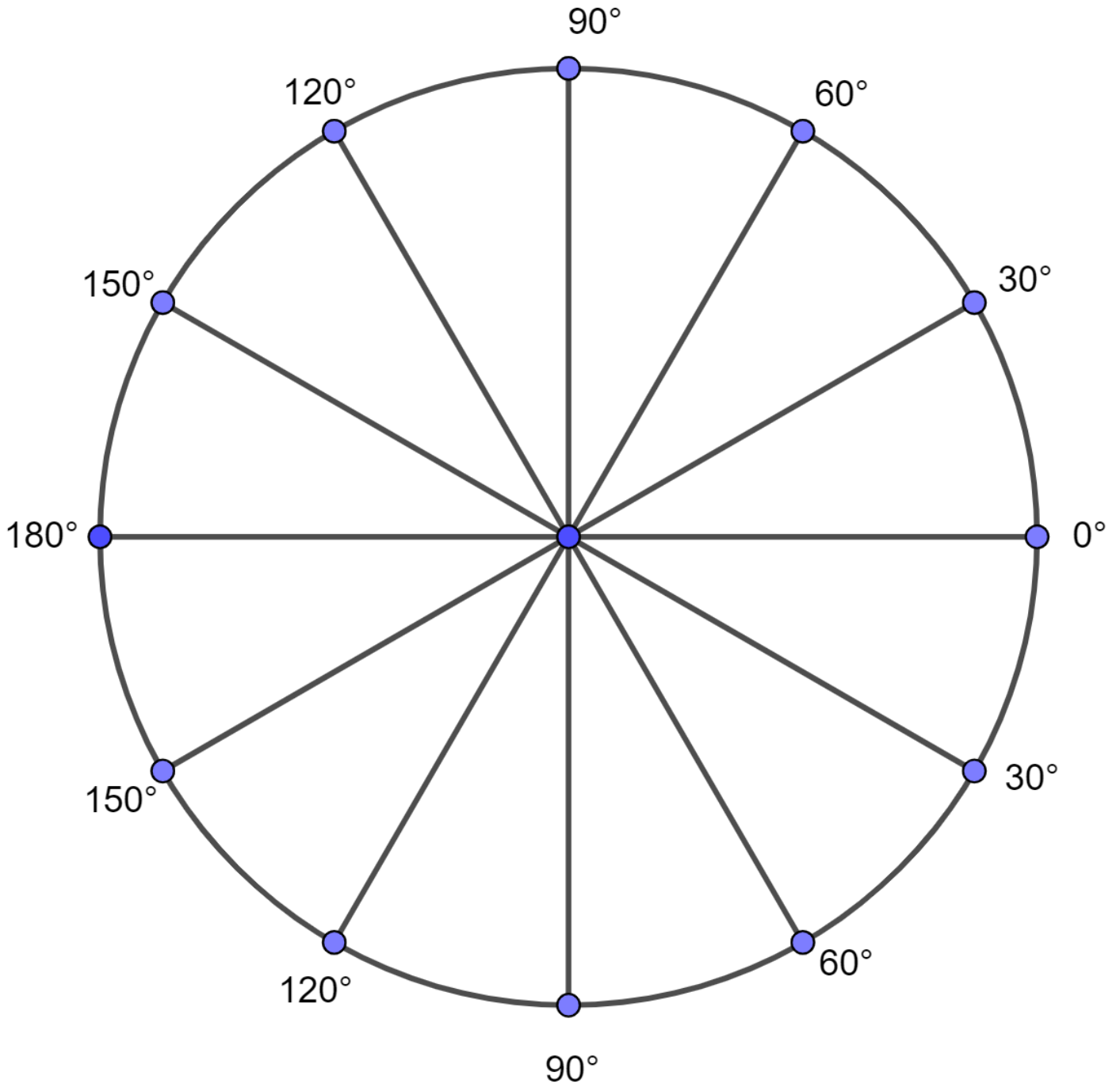
<sup>12</sup><https://www.thingiverse.com/thing:3136549>

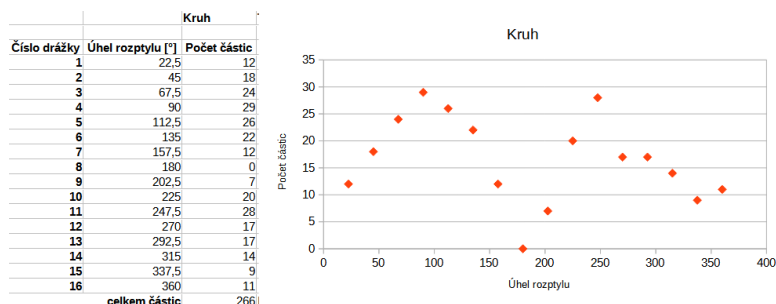
- **Poklopy**, kusy kartonu nebo desky na zakrytí terče. Nedrží-li na objektu, přidáme „nožičky“ z lega, nařezaných špuntů či špalíčků.
- **Tácy**, víka od krabic, nebo jiné pomůcky, které zajistí, že se kuličky budou kutálet po hladkém povrchu a zároveň zůstanou ve vyhrazeném prostoru.
- Kousek **modelíny** na přichycení terče k podložce.
- Pro přesnou variantu potřebujeme dále **rozjezdovou rampu**. Pro větší kuličky ji vytvoříme ze dvou špejlí, nebo kusu elektrikářské lišty. Rozhodneme-li se používat jako kuličky broky, lze využít brčko. Rampu podložíme tak, abychom vytvořili skluzavku, jejíž sklon se nebude měnit. Díky tomu se budou kuličky vždy rozjíždět se stejnými podmínkami.
- Pro přesnou variantu: **Úhломěr**. Postačí vytištěný kruh rozdělený na výseče připravený na další straně, zvětšený podle vašeho terče.

Na obrázku 3 je vyzkoušená, snadno dostupná a dobře fungující varianta s hliněnými kuličkami na cvrnkání a terči poskládaným z lego kostiček. Terč je zakryt kusem kartonu a z kartonu je i podložka (při požadované přesnosti drobné vroubky kartonu tvořícího podložku nevadily). Tvar L je na hádání možná vděčnější než konvexní tvary, kuličky se zajímavěji odráží.



Obrázek 3: Model experimentu s terčem z lega a hliněnkami jako nalétávajícími částicemi





Obrázek 4: Příklad zpracování dat – vynášení počtu částic v jednotlivých drážkách modelu z 3D tiskárny v programu LibreOffice Calc

### 3 Další aktivity

1. Pro trénink práce s tabulkovým editorem či nácvik zpracovávání laboratorních prací můžeme nechat žáky zaznamenávat, kam dopadne kulička a následně hodnoty vynášet do grafu, viz obr. 4. Tato aktivita není součástí standardního materiálu, protože žáky, kteří nejsou v práci s daty ještě dostatečně zblhlí, může mást to, že do výsledků se příliš promítne náhoda a nepřesnosti.
2. Máme-li čas a vybavení, můžeme využít applety. Applet PhET<sup>13</sup> ukazuje alfa částice nalétávající na jádra zlata. Lze zde měnit náboj jader atomů i částic a zobrazovat jejich stopu, applet navíc zahrnuje i simulaci toho, jak by situace vypadala, kdyby atom vypadal tak, jak jej popisuje pudingový model. Pro modelování dráhy částice okolo jádra můžeme využít jednoduchou aplikaci<sup>14</sup> Waltera Fendta. V tomto appletu volíme atomové číslo rozptylového jádra, rychlost a srážkový parametr alfa částice. Applet nám ukáže dráhu, po které částice letěla. Dráhy podobně ukazuje také applet z kolekce Physletu<sup>15</sup>. Zde můžeme dokonce modelovat více částic současně. Tento applet je v angličtině.
3. Pro rozvíjení digitální gramotnosti můžeme žáky vyzvat, aby informace o Rutherfordově experimentu hledali sami. V češtině však bohužel zdrojů mnoho nenajdeme; vybrané pěkné zdroje jsou popsány v části o on-line verzi hodiny. Můžeme také navázat vyhledáváním informací o dalších experimentech Geigera, Marsdena a Rutherforda, neboť experiment, který vešel do dějin, byl jen jedním z celé řady, nebo mladším pokusem, kdy podobným způsobem byla zkoumána vnitřní struktura nukleonů.
4. Pro upevnění nabytých poznatků je možné žáky následně nechat zpracovat Rutherfordův experiment ve formě ilustrace, plakátu či pantomimy.

<sup>13</sup><https://phet.colorado.edu/cs/simulation/rutherford-scattering>, viz QR kód na obrázku 11

<sup>14</sup>[https://www.walter-fendt.de/html5/phcz/rutherfordscattering\\_cz.htm](https://www.walter-fendt.de/html5/phcz/rutherfordscattering_cz.htm), QR kód na obr. 12

<sup>15</sup>[https://www.compadre.org/PQP/quantum-need/section4\\_7.cfm](https://www.compadre.org/PQP/quantum-need/section4_7.cfm), QR kód na obr. 13

## 4 QR kódy pro rychlý přístup



Obrázek 5: Model pokusu pro 3D tisk



Obrázek 6:  
Článek na Kha-  
nově škole



Obrázek 7:  
Článek na Wiki-  
pedii



Obrázek 8:  
Článek na Ency-  
klopedii fyziky



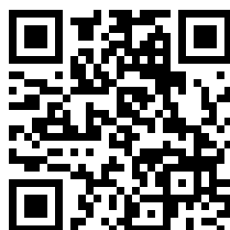
Obrázek 9:  
Článek na strán-  
kách ČEZ



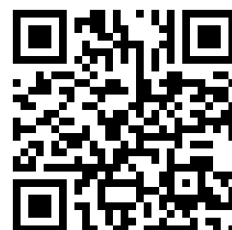
Obrázek 10:  
Vizualizace po-  
kusu na Youtube



Obrázek 11:  
Applet PhET



Obrázek 12:  
Applet Waltera  
Fendta

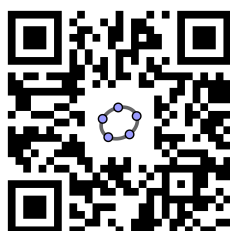


Obrázek 13:  
Applet Physletu

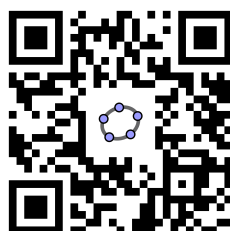
### Rutherfordův pokus v GeoGebře



Obrázek 14:  
Úvodní video



Obrázek 15:  
První aktivita



Obrázek 16:  
Druhá aktivita



Obrázek 17:  
Třetí aktivita

## Pracovní listy

Jméno: \_\_\_\_\_  
Třída: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_  
Základní verze

### Cíl

Naším cílem je prozkoumat model pokusu Ernesta Rutherforda, vedoucího k objevu jádra atomu, a uvědomit si, jak se liší pokusy s částicemi velikosti atomů a menšími od pokusů v našem běžném světě.

### Úkol 1

**Před začátkem:** Jak se odrazí kulička vyslaná ve směru šipky proti rovné stěně? Načrtněte.



**UPOZORNĚNÍ: Nenechte kuličky spadnout na zem!**

### Úkol 2

**Hádání:** Pod poklopem je schovaný objekt jednoduchého tvaru. Vaším úkolem je odhalit jeho tvar, aniž byste pod poklop nahlédli. K dispozici však máte pouze kuličky. Pouštějte je ze skluzavky a pozorujte, jak se pohybují. Odpovězte na následující otázky.

1. Jakou velikost by mohl mít objekt pod poklopem? Jaký tvar? Proč si to myslíte?
2. Co všechno o tom objektu můžeme říci?
3. Co o něm určitě nezjistíme?

Nadzdvihněte poklop. Trefili jste se?

Nyní nechte jednoho člena týmu vyměnit předmět pod poklopem tak, aby to ostatní neviděli (schovejte zbylé tvary). Zopakujte pokus a odpovězte opět na stejné otázky.

1. Jaký tvar by mohl mít objekt pod poklopem? Jakou velikost? Proč si to myslíte?

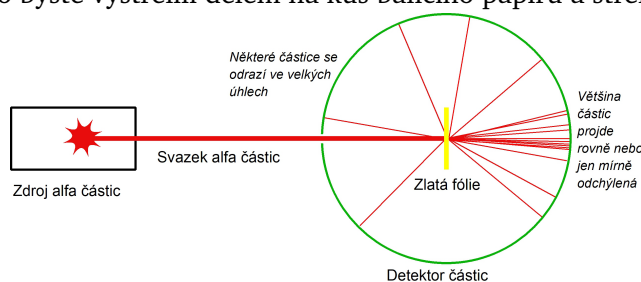
Nadzdvihněte poklop. Trefili jste se?

Vezměte některý z tvarů a načrtněte, jak se od něj kuličky budou odrážet.

- 
- 
- 
- 
- 
-

### Úkol 3

**Pár slov o Rutherfordově experimentu:** Během 19. století se prokázalo, že všechny látky se skládají z atomů. Na jeho konci bylo ale experimentálně dokázáno, že atomy obsahují i ještě menší částice, dnes známé jako elektrony. Protože ty jsou záporně nabité, je zřejmé, že zbytek atomu musí být kladný, aby celkový náboj byl nulový. Lidé si představovali, že atom má tvar koule, v níž jsou v kladně nabitě hmotě rozptýlené záporné elektrony. Přesnější podobu zbytku atomu odhalil právě Rutherfordův experiment. V něm byly kladně nabitě  $\alpha$  částice vystřelovány proti tenoučké fólii zlata. Když proletěly fólií, dopadly na stínítko, kde způsobily malý záblesk. Rutherfordovi spolupracovníci zaznamenávali, kolik záblesků na konkrétním výseku stínítka viděli. Víme, že elektricky nabitá tělesa (např. letící  $\alpha$  částice a atom) na sebe působí silou, takže nás nepřekvapí, když se částice mírně odchýlí od původního směru. Překvapivě se ale určitá část  $\alpha$  částic od fólie odrazila téměř dozadu (viz obrázek). Jak Rutherford později poznamenal, bylo to, jako byste vystřelili dělem na kus balíčního papíru a střela se odrazila zpět.



Rutherford vypočítal, že výsledky pokusu je možné vysvětlit tak, že  $\alpha$  částice narazila na něco velmi malého, ale velmi hmotného. Elektrony jsou na to moc lehké. Potom ale kladný náboj nemůže být v atomu rozptýlen po celém objemu, nýbrž musí být soustředěn uprostřed! Tedy atom má jádro, které je kladně nabitě a je tam soustředěna také většina hmotnosti atomu.

### Úkol 4

**Po provedení aktivity a přečtení článku:** Nejprve každý člen týmu vymyslí a zapíše odpovědi na následující otázky. Informace z článku stačí. Poté své odpovědi porovnejte a společně vytvořte odpovědi co nejlepší:

1. Jestliže naše experimentování modeluje Rutherfordův pokus, jakou roli hrají jednotlivé předměty? (rampa, kuličky, terče, poklop, podložka s přihrádkami)
2. V čem se tato aktivita podobá Rutherfordově experimentu?
3. V čem se aktivita a skutečný experiment liší?
4. Který ze skrývaných objektů modeluje nejlépe atomové jádro? Proč právě ten?
5. Když máte nyní zkušenosti s modelem Rutherfordova experimentu, v čem se podle vás liší pokusy s částicemi velikosti atomů a menšími od pokusů s předměty o běžné velikosti?

Jméno: \_\_\_\_\_  
Třída: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_  
Verze pro ONLINE výuku

### Cíl

Naším cílem je prozkoumat model pokusu Ernesta Rutherforda, vedoucího k objevu jádra atomu, a uvědomit si, jak se liší pokusy s částicemi velikosti atomů a menšími od pokusů v našem běžném světě.

### Úkol 1

**Před začátkem:** Jak se odrazí kulička vyslaná proti rovné stěně? Načrtněte.

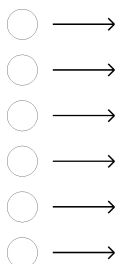


### Úkol 2

**Hádání tvaru ve videu:** Pod poklopem je schovaný jednoduchý objekt. Vaším úkolem je odhalit jeho tvar, k dispozici však máte pouze záznam toho, jak jsou na tento tvar pouštěny kuličky.

1. Jaký tvar by mohl mít objekt pod poklopem? Jakou velikost? Proč si to myslíte?
2. Trefili jste se? Překvapil vás výsledek?
3. V čem je výhoda malých kuliček? Co ukazuje golfový míček?

Vymyslete jiný tvar a načrtněte, jak se od něj kuličky budou odrážet.



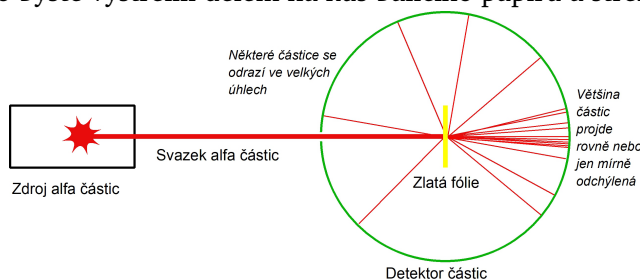
### Úkol 3

**Hádání tvaru v Geogebře:** Pod virtuálním poklopem (šedým čtvercem) je opět schovaný jednoduchý tvar a vaším úkolem je jej odhalit. K dispozici tentokrát máte záznam celé dráhy kuličky. Bodem Částice<sub>start</sub> měníte startovací polohu virtuální kuličky.

1. Jaký tvar by mohl mít objekt pod poklopem? Jakou velikost? Proč si to myslíte?
2. Trefili jste se? Překvapil vás výsledek?

#### Úkol 4

**Pár slov o Rutherfordově experimentu:** Během 19. století se prokázalo, že všechny látky se skládají z atomů. Na jeho konci bylo ale experimentálně dokázáno, že atomy obsahují i ještě menší částice, dnes známé jako elektrony. Protože ty jsou záporně nabité, je zřejmé, že zbytek atomu musí být kladný, aby celkový náboj byl nulový. Lidé si představovali, že atom má tvar koule, v níž jsou v kladně nabitě hmotě rozptýlené záporné elektrony. Přesnější podobu zbytku atomu odhalil právě Rutherfordův experiment. V něm byly kladně nabitě  $\alpha$  částice vystřelovány proti tenoučké fólii zlata. Když proletěly fólií, dopadly na stínítko, kde způsobily malý záblesk. Rutherfordovi spolupracovníci zaznamenávali, kolik záblesků na konkrétním výseku stínítka viděli. Víme, že elektricky nabitá tělesa (např. letící  $\alpha$  částice a atom) na sebe působí silou, takže nás nepřekvapí, když se částice mírně odchýlí od původního směru. Překvapivě se ale určitá část  $\alpha$  částic od fólie odrazila téměř dozadu (viz obrázek). Jak Rutherford později poznamenal, bylo to, jako byste vystřelili dělem na kus balíčku papíru a střela se odrazila zpět.



Rutherford vypočítal, že výsledky pokusu je možné vysvětlit tak, že  $\alpha$  částice narazila na něco velmi malého, ale velmi hmotného. Elektrony jsou na to moc lehké. Potom ale kladný náboj nemůže být v atomu rozprostřen po celém objemu, nýbrž musí být soustředěn uprostřed! Tedy atom má jádro, které je kladně nabitě a je tam soustředěna také většina hmotnosti atomu

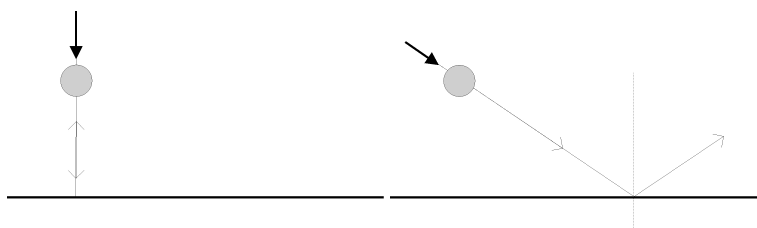
#### Úkol 5

**Po provedení aktivity a přečtení článku:** Nejprve každý člen týmu vymyslí a zapíše odpovědi na následující otázky. Informace z článku stačí. Poté své odpovědi porovnejte a společně vytvořte odpovědi co nejlepší:

1. Jestliže experimentování na videu modeluje Rutherfordův pokus, jakou roli hrají jednotlivé předměty? (rampa, kuličky, terč, poklop, podložka s přihrádkami)
2. V čem se naše aktivity podobají Rutherfordově experimentu?
3. V čem se aktivity a skutečný experiment liší?
4. Když máte nyní zkušenosti s modelem Rutherfordova experimentu, v čem se podle vás liší pokusy s částicemi velikosti atomů a menšími od pokusů s předměty o běžné velikosti?

## Úkol 1

**Před začátkem:** Jak se odrazí kulička vyslaná proti rovné stěně? Načrtněte. Pro studenty je v tuto chvíli nezbytné si uvědomit, že kulička se má odrážet pod stejným úhlem, jako pod kterým dopadla. Reálná kulička se samozřejmě nechová jako paprsek částic, ale pro naše účely od rozdílů odhlédneme.



## Úkol 2

**Hádání:** Pod poklopem je schovaný objekt. . .

1. Jakou velikost by mohl mít objekt pod poklopem? Jaký tvar? Proč si to myslíte? *Velikost lze odhadnout tak, že pustíme kuličky z krajních drážek; pokud se odrazí, objekt je na šířku větší než skluzavka, pokud ne, víme, že určitě není větší než vzdálenost mezi těmito drážkami a můžeme zkoušet dále. Odhadování tvaru bude samozřejmě velmi nejisté. Určujeme jej pouze z drah kuliček.*
2. Co všechno o tom objektu můžeme říci? *Kromě odhadu velikosti a tvaru můžeme navíc odhadnout, že materiál je pevný, neboť kuličku odráží a příliš nezpomalí.*
3. Co o něm určitě nezjistíme? *Nezjistíme barvu, jemnější obrysy tvaru, jak vypadá shora a zdola. . .*

## Úkol 3

**Pár slov o Rutherfordově experimentu: . . .**

## Úkol 4

Nejprve každý člen týmu vymyslí a zapíše odpovědi na následující otázky . . .

1. Jestliže náš experiment má být modelem Rutherfordova experimentu, jakou roli hrají jednotlivé dílky skládačky? *Kuličky jsou jako alfa částice, skluzavka jako píčka vystřelující částice, talířek s přihrádkami jako fluorescenční terč, objekt jako atom ve zlaté fólii.*
2. V čem se tato aktivita podobá Rutherfordově experimentu? *Je zde podobný princip pokusu: chceme zjistit, jak vypadá něco, na co se nemůžeme podívat. Můžeme pouze pozorovat, jak ovlivní dráhu částic, které na něj posíláme.*
3. V čem se aktivita a skutečný experiment liší? *Na tuto otázku je mnoho možných odpovědí. Když se soustředíme na podstatu pokusu, všechno je mnohem větší, na konci pokusu můžeme odkrýt poklop a podívat se, jak je to ve skutečnosti, v našem modelu je jen jedno „jádro“, kulička a objekt nejsou nabité, ve skutečnosti posíláme obrovské množství „kuliček“ a nemůžeme zjistit, odkud která přiletěla atd.*
4. Který z objektů v soupravě modeluje nejlépe atomové jádro? Proč právě ten? *Nejlépe jádro modeluje objekt tvaru rotačního hyperboloidu (podobný spodní části skleničky na víno), protože pohyb kuličky je podobný pohybu pod vlivem odpuzivé síly mezi tělesy.*
5. Když máte nyní zkušenosti s modelem Rutherfordova experimentu, v čem se podle vás mohou lišit pokusy s částicemi velikosti atomů a menšími od pokusů v našem běžném světě? *V běžném světě můžeme zkoumaný předmět vzít do ruky nebo se na něj alespoň podívat. Na částice se nepodíváme, můžeme zkoumat pouze důsledky toho, jak interagovaly s jinými částicemi.*

## B. Příloha – aktivita Kvarky

# Učitel'ská příručka

## Skládačka reprezentující kvarkový model

Rozhodneme-li se svým žákům přiblížit krásy mikrosvěta, nevyhnutelně narazíme na to, že si není možné jeho zákonitosti naživo ukázat, často ani si je jednoduše představit. Tato aktivita má za cíl žáky pomocí práce s modelem seznámit s kvarky a s vybranými pravidly, kterými se řídí kvarkové složení částic.

**Cíle:** Žáci popíší pojem hadron, silná interakce, kvark, standardní model. Popíší stavbu atomu, vysvětlí, proč drží jádro pohromadě. Vyvodí a na příkladu ukáží vybraná pravidla skládání kvarků v hadronu.

**Časová náročnost:** přibližně 45 min

**Pomůcky:** pracovní list pro každého žáka/dvojici žáků, vytištěná skládačka z 3D tiskárny, při práci s papírovou skládačkou nůžky, svorky, případně pastelky

**Předpokládané znalosti:** elektrický náboj a elektrostatická síla mezi náboji, skládání barev

**Věková kategorie:** 9. třída nebo střední škola

## Obsah

<b>1 Průběh hodiny</b>	<b>2</b>
<b>2 Poznámky k variantám</b>	<b>5</b>
2.1 Hodina s využitím papírové skládačky . . . . .	5
2.2 Hodina s využitím plastové skládačky . . . . .	6
2.3 On-line hodina . . . . .	7
<b>3 Další společné materiály</b>	<b>8</b>
3.1 Další aktivity . . . . .	8
3.2 Kam dál? . . . . .	8
3.3 QR kódy k použitým odkazů . . . . .	9
3.4 Průvodní text k aktivitě . . . . .	10
<b>Pracovní listy</b>	<b>11</b>

Základní struktura této aktivity je vždy stejná: žáci se seznámí s teorií, díky které si vytvoří představu o tom, jak skládačka modeluje chování kvarků. Poté pracují na skládačce a z výsledků práce vyvodí pravidla, podle kterých kvarky skládají hadrony. Skládačku je možné použít jak plastovou vytištěnou na 3D tiskárně, tak vystříhanou z papíru. Průběh hodiny je podobný, pracovní listy se pro obě verze mírně liší, protože se mírně liší práce s oběma skládačkami. Na následujících stránkách se nachází společná příprava, poté komentáře k jednotlivým verzím a jejich pracovní listy. Na konci naleznete další materiály – náměty na další aktivity a texty, jež je možné využít jako teoretický úvod pro žáky.

## 1 Průběh hodiny

1. **Příprava před vyučovací hodinou:** Vytiskněte pracovní list, připravte plastovou skládačku. Žáci budou pracovat ve dvojicích či trojicích, ve větších skupinách by si žáci spíše překáželi.
2. **Úvod:** *5 minut* Podle vlastního uvážení rozdělíme žáky do skupin, seznámíme je s programem hodin a požadavky na práci ve skupině, rozdáme papíry.
3. **Výkladová část:** *15 minut, v případě stříhání dalších 10 min.* Před vlastním skládáním je potřeba žáky seznámit se základními body teorie, kterou při práci využíváme. Je možné využít přiloženou zvukovou nahrávku, nebo žákům předložit k přečtení připravený průvodní text. Tento text i nahrávka stručně prochází dějiny poznávání atomu, zjednodušeně popisují kvarkový model, na závěr podají navíc přehled částic standardního modelu. Další možností je samozřejmě představit potřebné znalosti vlastním výkladem. Na konci této části by žáci měli mít představu o tom, z čeho se skládá atom, z čeho se skládají částice, které jej tvoří, a které částice se (podle našeho současného poznání mikrosvěta) již z ničeho neskládají. Chceme-li ušetřit čas v hodině, přečtení zadáme za domácí úkol.
4. **Ověření:** *5 min.* V rámci prvního úkolu pracovního listu ověříme, zda žáci v první části získali výše zmíněné znalosti. Tento úkol plní (nebo alespoň rozmýšlí) každý žák sám a výsledky následně porovnává ve dvojici či skupině.
5. **Pracovní část:** *20 minut.* Jakmile mají žáci vystříhané či připravené dílky skládačky a jsou seznámeni s teorií, mohou začít skládat. Pravidla pro skládání jsou popsána a ilustrována v pracovním listě. Hadrony ze dvou kvarků, tzv. mezony, mají tvar šestiúhelníku, jsou to dva dílky přiložené delší hranou k sobě. Hadrony ze tří kvarků, tzv. baryony, mají tvar trojúhelníku,

dílky přikládáme kratšími hranami k sobě. Dílky k sobě přikládáme stejně dlouhými hranami tak, aby v plastové skládačce do sebe zapadaly výstupky a zářezy a v papírové skládačce k sobě byly přiloženy vždy světlý a tmavý trojúhelníček. Žáci do pracovního listu zapisují typy kvarků, barvu dílků a náboj.

Ve chvíli, kdy mají žáci poskládáno alespoň několik částic od každého druhu (ideálně vyplněnou celou tabulku), mohou se začít pokoušet odpovědět na otázky ohledně pravidel skládání částic.

Pokud při procházení třídou vidíte, že některá skupina si při hledání pravidel neví rady, tápe, nebo míří špatným směrem, zde jsou otázky, kterými je možné jim napovědět vhodný postup:

- Co mají vytvořené hadrony společného? Čím se liší?
- Jaké hodnoty nám vychází, když sečteme náboje kvarků v jedné částici? Jaký je tedy celkový náboj každého z hadronů, které se ti podařilo vytvořit? Co z toho můžeme usoudit o náboji částic? Může nám vyjít i 0 nebo záporné číslo?
- Co můžeme říci o barvě kvarků, které tvoří tebou složené mezony? Ověř své pozorování tím, že složíš další podobné mezony. Je možné, při respektování pravidel skládání, vytvořit nějaký mezon, který to nesplňuje?
- Co můžeme říci o barvě kvarků, které tvoří tebou poskládané baryony? Ověř své pozorování tím, že složíš další podobné baryony. Je možné, při respektování pravidel skládání, vytvořit nějaký baryon, který to nesplňuje?

Pracovní listy počítají s větší mírou samostatnosti žáků, ale i s vašimi zásahy do jejich debat.

Příklady pravidel, které by žáci mohli objevit:

- Náboj hadronů vychází jako celé číslo; konkrétně pro mezony jsou to čísla  $-1, 0, 1$ , pro baryony  $-2, -1, 0, 1, 2$ .
- Baryony musí být složeny pouze z kvarků nebo antikvarků, mezony naopak musí obsahovat jeden kvark a jeden antikvark.
- Mezony se skládají ze dvou kvarků barva-antibarva, v baryonech mají kvarky všechny tři barvy, nebo všechny tři antibarvy. Žáky by teoreticky mohlo napadnout, že při míchání světla všechny tři barvy nebo barva a její komplementární barva (antibarva) dají dohromady bílou.



Obrázek 1: Skládání dílků při hodině

6. **Evaluační a uzavírací část:** *15 minut.* V rámci diskuse skupinky představí pravidla, která objevily. Pravděpodobně se stane, že většina skupinek bude mít podobné výsledky; můžeme tedy jednu skupinu nechat představit dané pravidlo a ostatní porovnat způsoby, jakými je oni formulují, a nechat je vybrat či dotvořit ten nejlepší. Jiná skupina pak přidá způsob, jakým by toto pravidlo ukázala (případně vyvrátila) za pomoci skládačky. Dále můžete nechat žáky popsat, jaké další nápady měli a jak a proč je zavrhli. Vytváření hypotéz, jejich ověřování a následné potvrzení či vyvrácení hypotézy je důležitou součástí vědecké práce, což zde můžeme s žáky prožít. Vidíme také, jak je chyba důležitou součástí práce. Pokud je třída příliš velká na takovýto způsob práce, můžeme spojit tři až čtyři skupiny, nechat porovnávání a diskusi proběhnout v těchto skupinách a třídu spojit až na konečné sdílení pravidel. Ta už by se v tu chvíli neměla příliš lišit. Větší diskusní skupině můžeme zadat otázky:

- Jaká pravidla máte stejná? Formulujete je stejně? Přišli jste na ně stejným způsobem? Shodněte se na společném znění pravidel.
- Jaká pravidla máte odlišně? Navrhněte, jak ověřit, která varianta je správná.

## 2 Poznámky k variantám

### 2.1 Hodina s využitím papírové skládačky

V této části jsou popsána specifika práce s papírovou skládačkou. Výhodou této verze je, že můžete skládačky žákům nechat a nemusíte se obávat ztráty dílků či smíchání sad. Pokud skládačku vytisknete na tvrdší papír a zalaminujete, získáte velmi levnou trvanlivější verzi.

V rámci přípravy před výukou je potřeba žáky upozornit, aby si přinesli nůžky a případně i základní pastelky.

Čas, který žáci na začátku tráví stříháním, je pak možné využít pro první seznámení se s teorií např. poslechem nahrávky, textu, který jim přečtete, nebo tento čas využijete pro svůj vlastní výklad. Je třeba počítat s tím, že stříhání a vybarvování zabere přibližně 5 až 10 minut (samozřejmě v závislosti na zručnosti a pečlivosti jednotlivých žáků). Nahrávka je poněkud delší než psaný text, počítá s tím, že žáci na ni nebudou plně soustředěni po celou dobu.

Pokud chceme přípravnou část co nejvíce zkrátit, necháme každou skupinku stříhat jen jednu skládačku a pracovat s jedním pracovním listem – stříhání je potom záležitostí pár minut. Jinak necháme každému žákovi jeho vlastní kopii; pokud se skládačky promíchají, ničemu to nevádí. Při černobílém tisku je vhodné dílky vybarvit pastelkami – viz obrázek 2.

Při samotném skládání je potřeba dávat pozor, zda trojúhelníčky na dílcích spolu sousedících tvoří vždy dvojici světlý-tmavý, opět viz obr. 2.

Pokud končíme hodinu před úplným koncem aktivity, z pracovních listů si žáci poskládají jednoduchou obálku zabezpečenou svorkou, aby do příští hodiny nepoztráceli dílky skládačky.



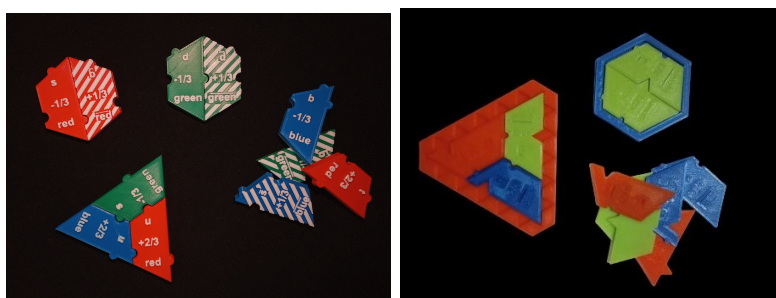
Obrázek 2: Ukázka papírové, černobíle vytištěné a vybarvené, skládačky – dva „mezony“, jeden „baryon“ a hromádka nevyužitých kvarků

## 2.2 Hodina s využitím plastové skládačky

Pro tisk dílků skládačky v barvách na 3D tiskárně je potřeba modrá, zelená a červená náplň (filament) do tiskárny, případně i bílá.

Pěkný tisknutelný model kvarků pochází z dílny CERN nachází se na <https://www.thingiverse.com/thing:3047674> (viz QR kód na obrázku 4). S bílým filamentem je možné vytvořit bílé nápisy a pruhy u antičástic. Jiná, menší a úspornější verze, se nachází na <https://www.thingiverse.com/thing:2820466> (viz QR kód na obrázku 5). Oproti prvně jmenované zahrnuje i dvě podložky pro skládání mezonů a baryonů. S jejich použitím pak odpadá nutnost zdůraznit žákům požadovaný výsledný tvar. Dílky do sebe při skládání zapadají velmi volně, ale přesto je zcela zřejmé, kde jsou výstupky a kde naopak prohlubně, do kterých výstupky patří. Na obrázku 3 vidíme, jak obě skládačky vypadají.

Chceme-li dílky tisknout co nejméně, můžeme použít pouze kvarky  $u$ ,  $d$ ,  $s$  a jejich antikvarky. Částice složené z těchto kvarků byly objeveny jako první; hmotu kolem nás tvoří pouze kvarky  $u$  a  $d$ . Existence zbylých tří kvarků,  $c$ ,  $b$ ,  $t$ , byla zjištěna až později a v případě top kvarku ani zatím nebylo pozorováno, že by tvořil částice – doba jeho života je příliš krátká.



Obrázek 3: Ukázky plastové skládačky

## 2.3 On-line hodina

Pro online hodinu je potřeba, aby si každý žák vytiskl skládačku a vystříhal dílky sám. Existuje však i online verze skládačky: <https://web.quarknet.org/activities/qwbench/puzzle5.html>

Práce může probíhat podobně jako při prezenční výuce s tím rozdílem, že práce ve skupinkách bude probíhat v tzv. breakout rooms. Je možné i zadat přípravu skládačky, seznámení se s teorií a vyplnění prvního úkolu jako samostatnou přípravu, případně první úkol realizovat jako online dotazník či test. V rámci společného hovoru můžete začít shrnutím toho, co si žáci měli projít a zodpovězením jejich otázek a pokračovat rozdělením do breakout rooms. V nich žáci vyplní zbytek pracovního listu a své odpovědi mohou zapsat do sdílené tabulky (případně opět do elektronického dotazníku či testu, který vám odpovědi shrne do jednoho dokumentu). Závěrečná diskuse může proběhnout ve společné místnosti, nebo je možné žáky náhodně rozdělit do větších skupin, využít opět breakout rooms a nechat žáky diskutovat v rámci těchto nových skupin.

## 3 Další společné materiály

### 3.1 Další aktivity

Studentům, kteří budou s prací hotovi rychleji, nebo jako navazující téma, můžeme připravit tabulku se složením několika částic, identifikovat mezi částicemi v tabulce ty již poskládané či zkusit další částice poskládat. Je však důležité poznamenat, že situaci velmi zjednodušíme a nezohledňujeme jiné zákonitosti, které v mikrosvětě panují. Kvarky například mohou mít i různou energii, proto vidíme, že  $\Delta^+$  a  $\Delta^0$  mají stejné složení jako proton (p) a neutron (n). Částice  $\Delta$  mají vyšší hmotnost (energii) než nukleony. Hadrony mohou být i výsledkem superpozice, například  $\pi^0$  je kombinací stavů  $u\bar{u}$  nebo  $d\bar{d}$ . To již je však nad rámec této aktivity.

Mezony		Baryony	
$\pi^+$	$u\bar{d}$	p	uud
$\pi^-$	$d\bar{u}$	n	udd
$\pi^0$	$u\bar{u}$ nebo $d\bar{d}$	$\Delta^{++}$	uuu
$K^+$	$u\bar{s}$	$\Delta^+$	uud
$K^-$	$s\bar{u}$	$\Delta^0$	udd
$\varphi^0$	$s\bar{s}$	$\Delta^-$	ddd
		$\Xi^0$	uss
		$\Xi^-$	dss

Tabulka 1: Přehled vybraných částic

Můžeme také navázat diskusí, jaké jsou limity papírového modelu: co již v této skladačce ukázat nemůžeme? Každého žáka by mohla napadnout velikost a tvar těchto částic, na což můžeme navázat diskusí o velikostech v mikrosvětě.

### 3.2 Kam dál?

Jaké zdroje můžeme studentům doporučit pro další studium? Podrobnější a přístupný výklad standardního modelu a příbuzných témat nalezneme např. na stránce Aldebaran<sup>1</sup> nebo v internetové učebnici docenta Dolejšího<sup>2</sup>. Zájemcům z řad studentů zběhlých v anglickém jazyce můžeme doporučit např. Particle

<sup>1</sup><https://www.aldebaran.cz/astrofyzika/interakce/standard-model.php>, QR kód na obrázku 7

<sup>2</sup>[https://ipnp-web.troja.mff.cuni.cz/~dolejsi/textbook/particle\\_textbook\\_CZ.htm](https://ipnp-web.troja.mff.cuni.cz/~dolejsi/textbook/particle_textbook_CZ.htm), QR kód na obrázku 8

Adventure<sup>3</sup>. Hravým studentům můžeme navíc doporučit ještě web Quarked!<sup>4</sup> s drobnými hrami na téma mikrosvěta.

S'cool LAB provozovaný CERNem nabízí celou stolní hru s částicemi<sup>5</sup> (taktéž v angličtině) a karty s popisem částic, s nimiž je možné hrát kvarteto<sup>6</sup> (také v angličtině, další instrukce a komentáře jsou v němčině).

### 3.3 QR kódy k použitým odkazům



Obrázek 4:  
Větší skládačka



Obrázek 5:  
Menší skládačka



Obrázek 6:  
Online skládačka



Obrázek 7:  
Výklad na Aldebaran



Obrázek 8:  
Učebnice doc. Dolejšího



Obrázek 9:  
Particle Adventure



Obrázek 10: Quarked!



Obrázek 11:  
Desková hra S'cool LAB



Obrázek 12:  
Karty S'cool LAB

---

<sup>3</sup><https://particleadventure.org/>, QR kód na obrázku 9

<sup>4</sup><https://www.quarked.org/>, QR kód na obrázku 10

<sup>5</sup><https://scoollab.web.cern.ch/particle-physics-games>

<sup>6</sup><https://www.teilchenwelt.de/material/materialien-fuer-lehrkraefte/teilchensteckbriefe/>, QR kód na obrázku 12

### 3.4 Průvodní text k aktivitě

Z čeho jsme my a svět kolem nás utvořeni? Již v 19. století bylo dokázáno, že vše se skládá z atomů. Atomy se však skládají z ještě menších částic. Elektrony byly objeveny jako první, a protože jsou záporně nabité, je zřejmé, že zbytek atomu musí být kladný, aby se náboje vyrovnaly. Elektrony se vyskytují v celém objemu atomu, ale zjistili jsme, že kladný náboj je soustředěn do velmi malého prostoru uprostřed. Tedy, atom má jádro, které je kladně nabitě.

Co tvoří to atomové jádro? Experimenty ukazují, že je složeno z kladně nabitých částic – protonů – a podobného nebo mírně vyššího počtu částic neutrálních – neutronů. Proton a elektron mají stejně velký náboj opačného znaménka, proto jich je v atomu stejný počet. Protony a neutrony mají zase přibližně stejnou hmotnost, ovšem jsou asi 2 000krát těžší než elektron. V jádře je tedy soustředěna většina hmotnosti atomu.

Co drží v jádře částice u sebe? Nemůže to být ani elektromagnetická (ta by je rozehnala od sebe), ani gravitační síla (je na to příliš slabá). Jádro drží pohromadě síla, kterou nazýváme silná. Na elektron silná síla nepůsobí a ani on nepůsobí silně na jiné částice. Budeme se soustředit na ty částice, které mezi sebou silně interagují, jako právě proton a neutron – na tzv. hadrony.

Postupně byly objevovány další částice s podobnými vlastnostmi, další hadrony. Při třídění hadronů podle jejich vlastností se ukázalo jako užitečné uvažovat, že všechny hadrony jsou složeny z menších částic. Ty dnes nazýváme kvarky. Známe tyto typy kvarků: *d* (česky dolů, anglicky down), *u* (nahoru, up) a *s* (podivný, strange), *c* (půvabný, charm), *b* (spodní, bottom) a *t* (svrchní, top). Jména fyzici téměř nepoužívají, vystačí si s označením písmenem.

Každý kvark je elektricky nabitý a náboj hadronu je dán součtem nábojů kvarků. Při zkoumání toho, jak skládají hadrony, jsme zjistili, že mají ještě jednu zatím neznámou vlastnost. Tato vlastnost se nazývá barva, ale s barvou tak, jak ji známe z našeho světa, nemá nic společného. Každý kvark tak může „být“ modrý, zelený, nebo červený. Ke každému kvarku existuje i antikvark, který má elektrický náboj stejné velikosti, ale opačného znaménka, a místo barvy má antibarvu (např. místo zelené antizelenou). Za to, že kvarky drží u sebe a tvoří hadron, je zodpovědná právě silná interakce.

Pomyslná „zoologická zahrada“ nejmenších částic hmoty je tvořena ještě dalšími exempláři, částicemi, které netvoří hadrony, pro něž na tomto místě již není prostor. Celá sbírka částic a popisů toho, jak spolu interagují, se nazývá standardní model.

## Pracovní listy

Jméno: \_\_\_\_\_  
Třída: \_\_\_\_\_

Pracovní list pro 3D skládačku  
Datum: \_\_\_\_\_

## Cíl

Vaším cílem v této aktivitě je objevit, podle jakých pravidel kvarky skládají těžší částice. Protože to jsou částice na obvyčejné experimentování příliš malé, pomůže vám skládačka, jejíž dílky se řídí stejnými pravidly jako skutečné kvarky.

## Úkol 1

### Po poslechu či čtení

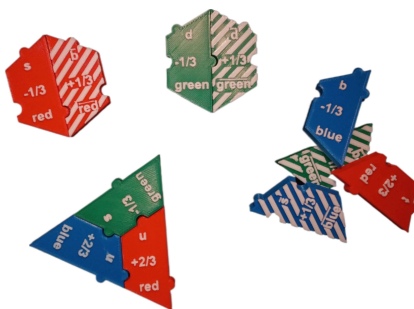
1. Která z částí atomu byla objevena jako první? Co její objev říkal o zbytku atomu? Jak tento zbytek atomu vypadá?
2. Jak to, že jádro atomu drží pohromadě? (Existuje nějaký důvod, proč by nemělo?)
3. Jak se jmenují částice, z kterých se skládá proton a neutron? Kolik různých typů těchto částic známe?
4. S jakými vlastnostmi těchto částic jste se seznámili?

## Úkol 2

**Skládání:** Skládačka představuje kvarkový model. Jednotlivé dílky představují druhy kvarků,  $d$ ,  $u$ ,  $s$ ,  $c$ ,  $b$  a  $t$  ve třech barvách a jejich antikvarky. Každý dílek je označen písmenem podle typu kvarku, číslem, které značí hodnotu jeho elektrického náboje (pozor, může být kladný i záporný), a má barvu. Antikvarky jsou označeny čarou nad písmenem, antibarva čarou nad jménem barvy a vystouplými pruhy (například antikvark  $k$  zelenému  $u$  kvarku je označený  $\bar{u}$ ,  $\overline{\text{green}}$  a pruhovaný).

V přírodě se vyskytují hadrony z dvou či tří kvarků. Poskládej některé, dodržuj však přitom následující pravidla:

- Skládej k sobě dílky tak, aby se dotýkaly stejně dlouhými stranami a aby do sebe zapadly.
- Není potřeba používat sílu, dílky do sebe zapadnou zcela volně.
- Vždy, když poskládáš hadron, zapiš do tabulek typy použitých kvarků (tj. písmeno, které jej označuje), jejich náboj a barvu. V posledním řádku sečti náboje kvarků.



Obrázek 1: Dva mezony, jeden baryon a hromádka nepoužitých kvarků



Jméno: \_\_\_\_\_  
Třída: \_\_\_\_\_

Pracovní list pro papírovou skládačku  
Datum: \_\_\_\_\_

## Cíl

Vaším cílem v této aktivitě je objevit, podle jakých pravidel kvarky skládají těžší částice. Protože to jsou částice na obyčejné experimentování příliš malé, pomůže vám skládačka, jejíž dílky se řídí stejnými pravidly jako skutečné kvarky.

## Úkol 1

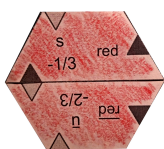
### Po poslechu či čtení

1. Která z částí atomu byla objevena jako první? Co její objev říkal o zbytku atomu? Jak tento zbytek atomu vypadá?
2. Jak to, že jádro atomu drží pohromadě? (Existuje nějaký důvod, proč by nemělo?)
3. Jak se jmenují částice, z kterých se skládá proton a neutron? Kolik různých typů těchto částic známe?
4. S jakými vlastnostmi těchto částic jste se seznámili?

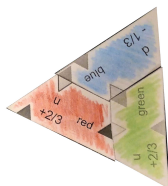
## Úkol 2

**Skládání:** V přírodě se vyskytují hadrony ze dvou či tří kvarků. Poskládejte ze skládačky některé, dodržte však přitom následující pravidla:

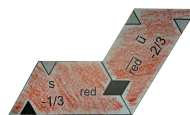
- Skládejte k sobě dílky tak, aby na hranách sousedních dílků sousedil vždy světlý a tmavý trojúhelníček (viz 1 a 2). Trojúhelníčky nesmí být ve dvojici s trojúhelníčkem stejného odstínu (viz 3). Osamocené trojúhelníčky na hranách, které nesousedí s jiným dílkem, nevadí.
- Dílky představující jednotlivé kvarky se nesmí překrývat a musí být k sobě přiloženy stejně dlouhými stranami (viz 4).
- Vždy, když poskládáte hadron, запиšte do tabulek typy použitých kvarků (tj. písmeno, které jej označuje), jejich náboj (hodnotu) a barvu. V posledním řádku sečtěte náboje kvarků.



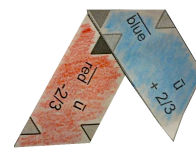
Obrázek 1: Takto ano



Obrázek 2: Takto ano



Obrázek 3: Takto ne

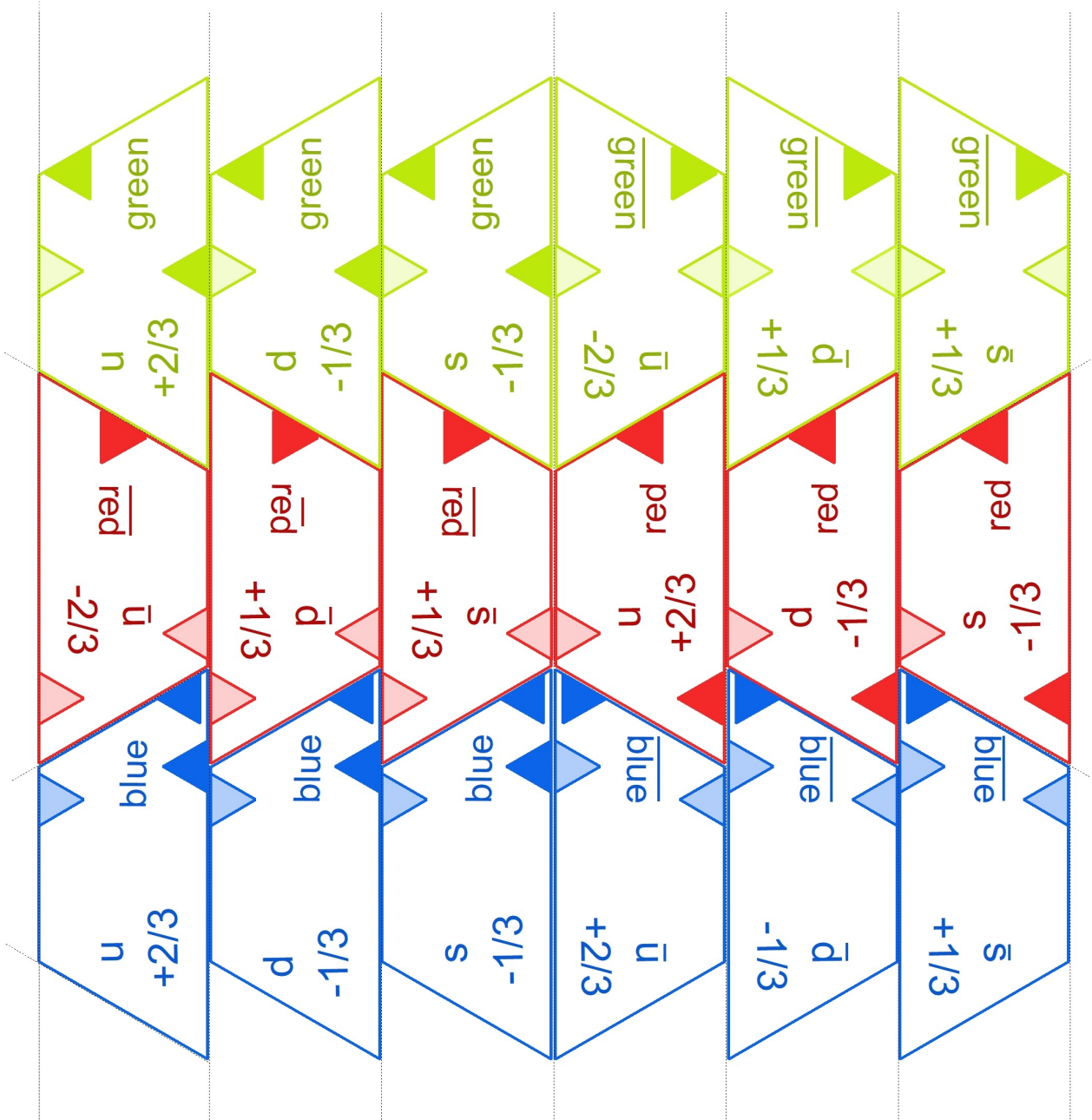


Obrázek 4: Takto ne



## Vystřihovánka

Máš před sebou papírovou skládačku kvarkového modelu. Jednotlivé dílky představují první objevené druhy kvarků,  $u, d$  a  $s$  ve třech barvách a jejich antikvarky. Každý dílek je označen písmenem podle typu kvarku, číslem, které značí hodnotu jeho elektrického náboje (pozor, může být kladný i záporný), a barvou. Antikvarky jsou označeny čarou nad písmenem, antibarva čarou nad jménem barvy (například antikvark  $k$  zelenému  $u$  kvarku je označený  $\bar{u}$  a  $\overline{\text{green}}$ ).



## C. Příloha – aktivita Bublinová komora

# Učitel'ská příručka

## Bublinová komora

**Téma:** Detekce částic, bublinová komora

**Cíle:** Žáci rozeznají stopy vybraných interakcí ve fotografiích z bublinové komory.

**Časová náročnost:** cca 45 min (možno přidat cca 20 min v další hodině)

**Pomůcky:** pracovní list s textem pro každého žáka, pracovní list s otázkami pro každou domovskou skupinku (pokud možno vytisknuté barevně)

**Předchozí znalosti:** chování elektrických nábojů a zákon zachování náboje, hybnost a zákon zachování hybnosti, Lorentzova síla

**Věková kategorie:** 9. třída nebo střední škola

Tato aktivita využívá princip skládkového učení. Pomáhá s rozvojem kritického myšlení a pomáhá žákům převzít odpovědnost za své učení. V první fázi se žáci seznámí s texty v rámci tzv. expertní skupiny. V textech se dozví, jak bublinové komory fungují, s jakými částicemi se v nich můžeme setkat a jak se tyto částice budou chovat v komoře. Soustředíme se pouze na několik základních částic. V druhé fázi se žáci seskupí do domovských skupinek a v nich naučí své spolužáky to, co podrobně probrali v expertní skupině. Ve třetí fázi potom domovská skupinka na základě toho, co se naučili, společně vyhodnotí několik fotografií z bublinové komory.

Identifikování částic a vyhodnocování záznamů jejich interakcí z fotografií by bylo samozřejmě mnohem komplikovanější a náročnější než to, co jsme schopni provést ve třídě, ale i tak dokážeme žákům poskytnout zajímavý vhled do problematiky částic a částicové fyziky.

# 1 Průběh hodiny

1. **Příprava před vyučovací hodinou:** Vytiskneme pracovní listy a připravíme způsob rozdělení do domovských skupinek. Můžeme žáky rozpočítat, nechat vylosovat lístečky, vytvořit týmy podle jejich volby, určit je předem atd. Domovské skupinky můžeme označovat číslem, barvou, jménem fyzika. . . Expertní skupiny jsou označeny A, B, C. Mohou se nám hodit cedulky, které umístíme do rohů třídy. Pokud máme nad 30 žáků, můžeme rozdělit expertní skupiny na poloviny.
2. **Úvodní část hodiny:** (5 min) Seznámíme žáky s průběhem hodiny a vysvětlíme zásady práce (přiměřená hlasitost, místa skupin atd.). Nejprve rozdělíme žáky do domovských skupinek po třech. Každá skupinka dostane přidělenou trojici textů. Každý člen skupiny si vezme jeden list, své psací potřeby a odebere se do své expertní skupiny.
3. **Čtení v expertních skupinách:** (10 min) V expertní skupině všichni přečtou svůj text. Pokusí se si navzájem vysvětlit, co jim není jasné. Dohodnou se na tom, které informace z textu jsou nejdůležitější, vytvoří jejich seznam a rozmyslí, jak je budou vysvětlovat své skupině. Pouze v případě, že si nebudou vědět rady sami, zavolají učitele. V první fázi kontrolujeme, zda se žáci zorientovali v principu práce, v druhé fázi potom, zda dochází k správným závěrům a povzbuzujeme ji ve vytváření vizuálních pomůcek a modelů (obrázků, tabulek, schémat. . .). Nakonec společně formulují tři otázky, na něž by jejich spolužáci měli umět odpovědět poté, co je experti tuto látku naučí. Jejich otázky si zapíšeme před tím, než žáky rozpustíme do domovských skupinek.

V průběhu práce expertních skupin můžeme klást kontrolní otázky:

**Skupina A** Co znamená ionizovat? Znáte nějaké elektricky nabitě částice?  
Z čeho je tvořen vodík?

**Skupina B** Znáte nějaké elektricky nabitě nebo naopak neutrální částice?  
Kterým směrem působí síla při pohybu po kružnici? Jak by mohl vypadat příklad na užití Flemingova pravidla?

**Skupina C** Které částice jsou kladné? Které záporné? Které jsou neutrální? Jak byste nakreslili atom vodíku? Z čeho by mohl být složen antivodík?

4. **Učení v domovských skupinkách:** (5–10 min) Každý člen skupinky představí zbylým dvěma to, co se naučil v expertní skupině tak, aby byli

schopni odpovědět na otázky, které expertní skupina vytvořila, reprodukovat nabyté poznatky a případně je dát do kontextu s tím, co se naučili oni ve svých expertních skupinách. Tuto část není potřeba příliš prodlužovat, protože do větší hloubky dojdou žáci při vyplňování pracovního listu.

5. **Práce s pracovním listem:** (10–15 min) Skupinka společně vyplňuje pracovní list. Otázky jsou koncipované tak, aby vyžadovaly součinnost všech členů.
6. **Evaluační a závěrečná část hodiny:** (5–15 min) Zakončit práci s pracovním listem můžeme více způsoby. Pokud máme dostatek času, vyvoláváme žáky a necháme je přečíst a okomentovat odpověď jejich skupinky. Můžeme také rozdat okopírovaný klíč a nechat žáky porovnat svou práci s klíčem. Pokud chceme práci v hodině hodnotit, listy můžeme vybrat a opravit sami. Než hodinu ukončíme úplně, necháme žáky shrnout, co se naučili. Můžeme využít otázky jako: Co jste se dozvěděli? Co vás překvapilo? Jaké máte k tomuto tématu otázky? Jak se vám podařilo naučit svou domovskou skupinku své nové poznatky? Jak pracoval váš tým?

**Poznámka k hodnocení:** Není vždy nutné, aby skupinka odpověděla zcela správně, důležité je, aby se žáci pokusili dát dohromady své poznatky a svá tvrzení pečlivě odůvodňovali.

## 2 Další materiály

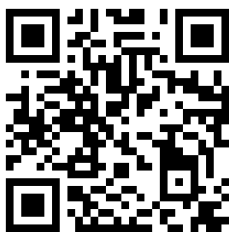
- Na další straně se nachází tabulka s jmény fyziků, kteří se zapsali do dějin jako významné osobnosti, vynálezci či konstruktéři detektorů částic a urychlovačů. Hodí se k rozlosování žáků do domovských skupinek. Chceme-li se tomuto tématu věnovat déle, můžeme navázat např. referáty o současných urychlovačích, detektorech ale i těchto osobnostech.
- V následující hodině můžeme prověřit znalosti žáků a dát jim zpětnou vazbu k tomu, co naučili, ale i k tomu, jak dobře se jim dařilo věci vysvětlit. Trojice otázek, které vytvořily expertní skupiny během své práce, uspořádáme do krátkého testu. Poté, co je žáci napíšou, necháme pro každou otázku některého člena expertní skupiny vysvětlit, jak zněla správná odpověď a proč.
- Další informace ohledně fotografií z bublinových komor můžeme najít na mnoha dalších místech. Mnohé pěkné aktivity existují v anglickém jazyce. S'cool LAB, stránka zdrojů pro pedagogy na středních školách, má připravené pracovní listy a aktivity, najdeme je na jejich stránkách<sup>1</sup> (pro rychlý

---

<sup>1</sup><https://scoollab.web.cern.ch/bubble-chamber-pictures-classroom>

přístup viz QR kód na obrázku 1). Na starších stránkách CERN<sup>2</sup> najdeme „Úvod do bublinových komor“, bohatý zdroj informací k bublinovým komorám; nejzajímavější pro nás je asi postup, jak „číst“ fotografie krok za krokem, a přehled fotografií a komentářů toho, jak vypadají dráhy různých částic. Jiný starší, ale zajímavý, zdroj je na stránkách Birmingham University<sup>3</sup> (QR kód na obrázku 3), kde najdeme poněkud primitivní, ale funkční „kvíz“. Na fotografiích hledáme zadané události. Existuje i kvíz v modernější podobě v programu GeoGebra<sup>4</sup> (QR kód na obrázku 4), ten je však bohužel pouze v německém jazyce.

Většina těchto zdrojů používá obrázky z galerie CERN. Najdeme je na CERN Document Server<sup>5</sup> (QR kód na obrázku 5).



Obrázek 1:  
S'cool LAB materiály



Obrázek 2:  
Úvod do bublinových komor



Obrázek 3:  
Kvíz s fotografiemi



Obrázek 4:  
Kvíz v GeoGebra



Obrázek 5:  
Různé archivované fotografie

Fotografie v této práci jsou přejaté ze zmíněné galerie CERN (QR kód na obrázku 5). Pracovní listy a použité ilustrace jsou inspirovány aktivitami na stránce <https://scoollab.web.cern.ch/bubble-chamber-pictures-classroom>.

<sup>2</sup>[http://hst-archive.web.cern.ch/archiv/HST2005/bubble\\_chambers/BCwebsite/index.htm](http://hst-archive.web.cern.ch/archiv/HST2005/bubble_chambers/BCwebsite/index.htm)

<sup>3</sup><http://epweb2.ph.bham.ac.uk/user/watkins/seeweb/BubbleChamber.htm>

<sup>4</sup><https://www.geogebra.org/m/VAK3P8ar>

<sup>5</sup><https://cds.cern.ch/record/2307419>

## Kartičky k rozlosování do domovských skupinek

<b>D. A. Glaser</b> vynálezce bublinové komory	<b>C. T. Rees Wilson</b> vynálezce mlžné komory, předchůdce bublinové komory	<b>Ernest Lawrence</b> vynálezce cyklotronu, urychlovače částic
<b>D. A. Glaser</b> vynálezce bublinové komory	<b>C. T. Rees Wilson</b> vynálezce mlžné komory, předchůdce bublinové komory	<b>Ernest Lawrence</b> vynálezce cyklotronu, urychlovače částic
<b>D. A. Glaser</b> vynálezce bublinové komory	<b>C. T. Rees Wilson</b> vynálezce mlžné komory, předchůdce bublinové komory	<b>Ernest Lawrence</b> vynálezce cyklotronu, urychlovače částic
<b>Georges Charpak</b> vynálezce drátové komory, moderního detektoru částic	<b>Hans Geiger</b> jeden z vynálezců Geiger-Müllerova počítáče	<b>Walther Müller</b> jeden z vynálezců Geiger-Müllerova počítáče
<b>Georges Charpak</b> vynálezce drátové komory, moderního detektoru částic	<b>Hans Geiger</b> jeden z vynálezců Geiger-Müllerova počítáče	<b>Walther Müller</b> jeden z vynálezců Geiger-Müllerova počítáče
<b>Georges Charpak</b> vynálezce drátové komory, moderního detektoru částic	<b>Hans Geiger</b> jeden z vynálezců Geiger-Müllerova počítáče	<b>Walther Müller</b> jeden z vynálezců Geiger-Müllerova počítáče
<b>Vladimir Veksler</b> jeden z vynálezců synchrotronu	<b>Edwin McMillan</b> jeden z vynálezců synchrotronu	<b>Rolf Widerøe</b> zkonstruoval lineární urychlovač
<b>Vladimir Veksler</b> jeden z vynálezců synchrotronu	<b>Edwin McMillan</b> jeden z vynálezců synchrotronu	<b>Rolf Widerøe</b> zkonstruoval lineární urychlovač
<b>Vladimir Veksler</b> jeden z vynálezců synchrotronu	<b>Edwin McMillan</b> jeden z vynálezců synchrotronu	<b>Rolf Widerøe</b> zkonstruoval lineární urychlovač
<b>Fabiola Gianotti</b> generální ředitelka CERN	<b>Joseph John Thomson</b> objevitel elektronu	<b>Carl D. Anderson</b> první pozoroval pozitron
<b>Fabiola Gianotti</b> generální ředitelka CERN	<b>Joseph John Thomson</b> objevitel elektronu	<b>Carl D. Anderson</b> první pozoroval pozitron
<b>Fabiola Gianotti</b> generální ředitelka CERN	<b>Joseph John Thomson</b> objevitel elektronu	<b>Carl D. Anderson</b> první pozoroval pozitron

## Pracovní listy

### Cíl

Cílem vaší expertní skupiny bude seznámit se s principem fungování bublinové komory.

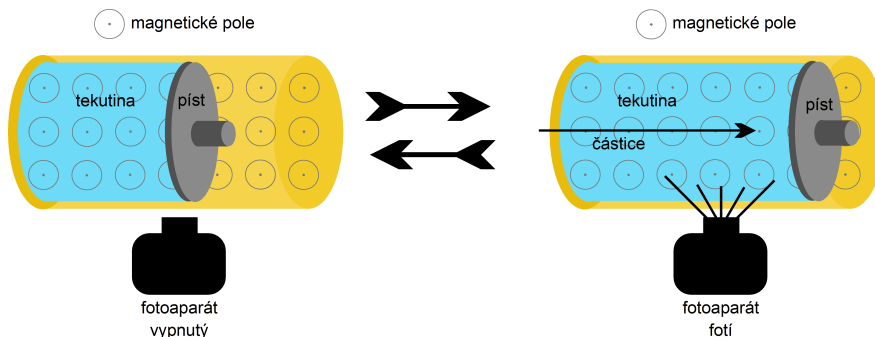
### Text A

#### Jak funguje bublinová komora

Bublinová komora je poměrně starý způsob zobrazování drah nabitých částic. V minulosti byly hojně využívány ve spojení s urychlovači částic, dnes se používají méně, ale přesto nezmizely docela. Pro nás studenty jsou názornou pomůckou, vědcům slouží třeba k výzkumům temné hmoty.

Bublinová komora je nádoba naplněná tekutinou, obvykle tekutým vodíkem. Využíváme toho, že teplota varu závisí na tlaku. V nádobě je tedy udržován stálý tlak pístem a tekutina má teplotu těsně pod teplotou varu. V jeden okamžik se píst uvolní, čímž se tlak v nádobě mírně sníží. Se snížením tlaku se sníží i teplota varu – tekutina je náhle ve stavu, že by mohla začít vřít a potřebuje jen malou pobídku k tomu, aby začala. Tuto pobídku dodají nabitě částice prolétávající tekutinou. Tím, jak prolétají komorou, ionizují atomy náplně podél své dráhy. Okolo nových iontů začne tekutina vřít a tvoří se bublinky, které rostou, až jsou dostatečně velké na to, abychom je mohli zachytit fotoaparátem. Na vzniklé fotografii pak vidíme stopy částic. Dříve než začne tekutina vřít celá, píst se posune zpět do původní polohy, čímž se zvýší tlak, teplota varu se opět zvýší a bublinky zmizí. Tím je komora připravena k dalšímu cyklu průletu částic a fotografování. Doba mezi průletem částice a fotografií může trvat jen několik mikrosekund.

V prostoru komory je navíc homogenní magnetické pole. Komora se fotografuje tak, aby pole směřovalo buďto směrem k pozorovateli, nebo od něj. Usnadňuje to potom interpretaci dat.



Obrázek 1: Opakující se cykly bublinové komory. Vlevo vidíme stlačený píst, tekutina se nevaří, fotoaparát nefotí. V obrázku napravo se píst uvolní, komorou prolétají částice, fotoaparát fotí vnitřek komory. Za chvíli se píst vrátí zpět a vše se bude opakovat. Značka nám ukazuje, že magnetické pole směřuje z obrázku k nám.

**Prostor pro poznámky:**

Jméno: \_\_\_\_\_  
Skupina: \_\_\_\_\_

**B**  
**Stopy částic v komoře**

### Cíl

Cílem vaší expertní skupiny bude seznámit se s tím, jak se částice chovají v bublinové komoře.

### Text B

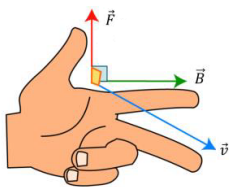
#### Jak se v komoře chovají částice

Pro vyhodnocování obrázků z bublinové komory potřebujeme několik základních poznatků o tom, se částice chovají.

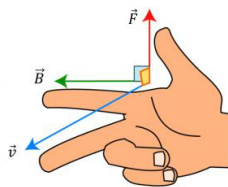
- Neutrální a nehybné částice nezanechávají v bublinové komoře stopu. Že komorou letěla neutrální částice, poznáme pouze podle toho, že se někde „z ničeho nic“ objeví stopa nabitě částice vyražené tou neutrální z místa, nebo stopy částic, na které se neutrální částice rozpadla.
- Náboj částic vystupujících z události (srážky, rozpadu...) musí být stejný jako náboj částic do události vstupujících. Jde o zákon zachování náboje.
- Při jakékoli události musí být výsledná hybnost stejná jako před ní. Jde o zákon zachování hybnosti. Pokud se zdá, že tomu tak není, události se zúčastnila i nenabitá částice, kterou na fotografii nevidíme. Změna trajektorie znamená, že částice mění hybnost – mohla se s něčím srazit (např. s protonem, jádrem atomu vodíku), rozpadnout se, anihilovat, nebo jen zpomaluje.
- Rychlost částice, směr magnetického pole a síla působící na částici spolu souvisí; pokud známe dvě veličiny, určíme z nich i třetí. Víme, že na fotografiích jsou na sebe rychlost a směr kolmé. K určení používáme Flemingovo pravidlo. Je možné postupovat takto:
  - Pokud ukazováček natáhneme ve směru pohybu (tedy směru rychlosti,  $\vec{v}$ ), ukazováček ve směru magnetického pole  $\vec{B}$ , ukáže nám palec směr působení Lorentzovy síly  $\vec{F}$ .
  - Pro kladně nabitě částice použijeme levou (obr. 1), pro záporně nabitě pravou ruku (obr. 2).

*(pokud jste se pravidlo učili jinak, snadno převeďte tento příklad na vám známý způsob)*

Pokud známe směr magnetického pole a vidíme její trajektorii, ze zakřivení trajektorie můžeme určit náboj částice.



Obrázek 1: Kladně nabitě částice



Obrázek 2: Záporně nabitě částice

**Prostor pro poznámky:**

Jméno: \_\_\_\_\_  
Skupina: \_\_\_\_\_

C  
Částice

### Cíl

Cílem vaší expertní skupiny bude seznámit se s vlastnostmi některých částic, které tvoří náš svět.

### Text C

#### Jaké částice můžeme v bublinové komoře pozorovat?

Každý atom se skládá z protonů, neutronů a elektronů. Vodík jediný činí výjimku, jeho jádro tvoří jediný proton, v jehož okolí se nachází jeden elektron. Proton je v porovnání s elektronem poměrně těžká částice – je 2 000 krát těžší. Proton je kladně elektricky nabitý, zatímco elektron záporně. Proton a neutron se také liší nábojem, neutron není nabitý, ale mají velmi podobnou hmotnost. K elektronu patří elektronové neutrino, ještě mnohem lehčí částice bez náboje. Každá částice má i svou antičástici. Ta má stejnou hmotnost jako částice, ale opačný náboj. Antičástice k elektronu se jmenuje pozitron a má kladný náboj. Antineutrino zvláštní jméno nemá. Pokud se pozitron srazí s elektronem, anihilují – zbude po nich pouze balíčky energie. Naopak z balíčků energie může vzniknout pár elektron-pozitron. Oním balíčkem energie je foton. I to je částice, ale netvoří hmotu. Může mít různou energii, ale nemá žádnou klidovou hmotnost a nenese elektrický náboj.

Existuje ještě celá řada dalších částic, ale pro naši aktivitu se omezíme jen na tyto. Pro vyhodnocování fotografií z bublinové komory potřebujeme znát jejich náboj a pomůže nám i mít představu o klidové hmotnosti. Letící proton například může vyrazit neurychlený elektron nebo proton z jeho místa, ale elektron proton nevyrazí, nemá na to dost hybnosti. Na trajektoriích elektronu či pozitronu bude více znát působení okolních částic, předávají jim svou energii a to se projeví na jejich trajektorii. Proton také okolním částicím předává energii, ale protože jí má obvykle mnohem větší, méně se to na jeho stopě projeví. Pokud si představíme energii jako hromadu koláčků, pak si dovedete snadno představit, že mají-li projít malý prvňáček s talířkem koláčků a maturant-kulturista s velkou mísou koláčků tělocvičnou plnou školáků, prvňáček přijde o svůj náklad mnohem dříve.



Obrázek 1: Nemůžeme si částice vyfotit či nakreslit, ale můžeme je kreativně ztvárnit. Zde jsou tedy plyšový proton, neutron, elektron, pozitron, elektronové neutrino a foton (antineutrino jsme vynechali). Neutrino má zlodějskou škrabošku, protože odnáší energii ze srážek a je velmi těžké jej detekovat. Foton je znázorněn v pohybu, protože vždy cestuje nejvyšší možnou rychlostí.

**Prostor pro poznámky:**

Jméno: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Skupina: \_\_\_\_\_

Společná část

### Cíl

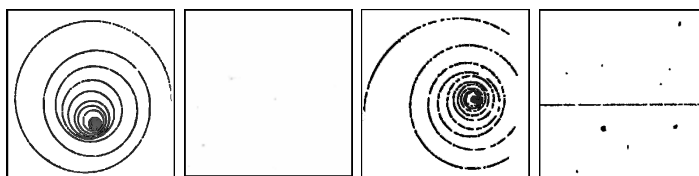
Cílem vaší domovské skupinky bude naučit se rozeznávat stopy některých částic a událostí na fotografiích z bublinové komory.

Na následujících úkolech pracujete v domovské skupince společně. Dejte dohromady nabyté znalosti z předchozích textů a vyřešte následující úkoly.

### Úkol 1

Přiřaďte částice k obrázkům, pokud víte, že magnetické pole míří ven z obrázku (směrem k nám):

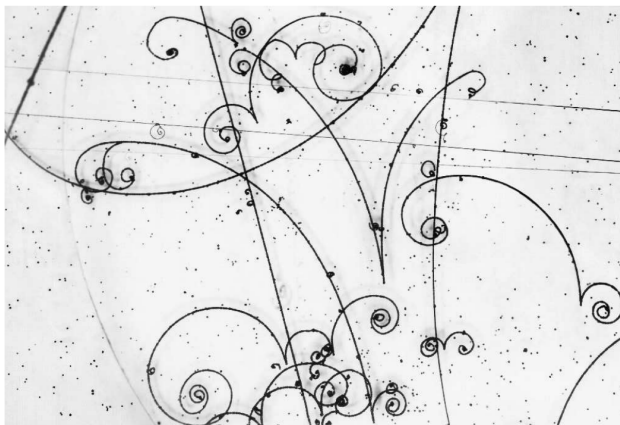
**proton, elektron, pozitron, foton**



Řešení na další straně.

### Úkol 2

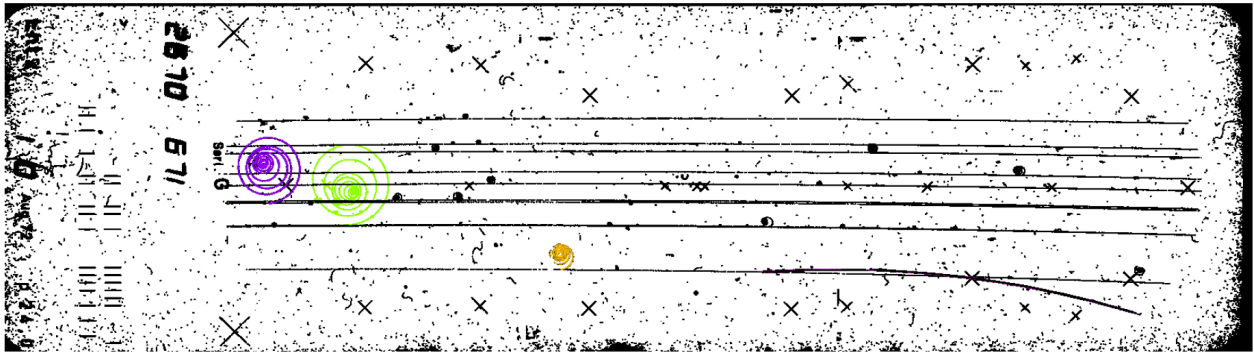
Toto je fotografie části elektromagnetické spršky (elektronů, pozitronů a fotonů).



1. Z kterého směru vstupují částice do obrázku?
2. Na některých místech se z ničeho nic objevuje „véčko“. Co se zde mohlo stát? Které částice (elektrony, pozitrony nebo fotony) je asi tvoří?
3. Proč jsou stopy částic zakroucené? Čím se liší částice mířící na opačné strany?
4. Kterým směrem míří magnetické pole? Můžeme to zjistit? Pokud ne, co potřebujeme znát?

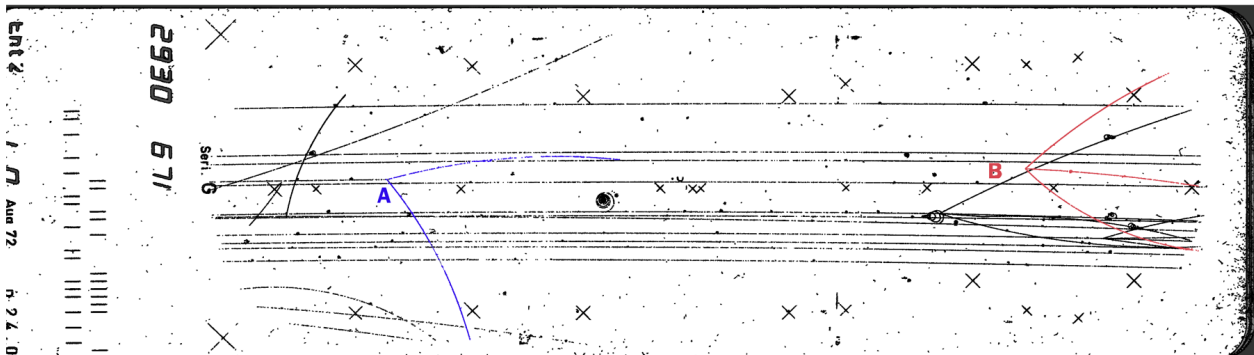
Následující dva obrázky pochází z bublinové komory, kterou zleva doprava prochází proud protonů.

### Úkol 3



1. Tři vybarvené dráhy (fialová, zelená a žlutá) jsou stopy elektronů. Kde se v komoře vzaly elektrony? Který z nich má největší hybnost, proč?
2. Kam míří magnetické pole? Dokážeme to z obrázku určit? Pokud ne, co bychom ještě potřebovali znát?

### Úkol 4



1. Zachyťte tuto fotografii nějakou již dříve diskutovanou událost?
2. Kolik drah částic vychází z bodu A? Jak jsou nabitě? Splňují zákon zachování náboje? Které částice zde mohly interagovat?
3. Kolik drah částic vychází z bodu B? Která z částic má asi větší hybnost? Proč právě ta? Jak jsou nabitě? Splňují zákon zachování náboje? Jaké částice zde mohly interagovat?

Řešení úkolu 1: obrázky zleva doprava reprezentují elektron, foton (nezanechává stopu), pozitron, proton

Jméno: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Skupina: \_\_\_\_\_

KLÍČ

### Cíl

Cílem vaší domovské skupinky bude. . .

### Úkol 1

1. Z kterého směru vstupují částice do obrázku? Zdola. Směr dlouhých čar a orientace „véček“ určuje, že to bude zdola nebo shora. „Véčka“ by mohla znamenat buďto spojení, nebo rozpad jedné částice. Protože není možné, aby částice po cestě získávaly energii, musí spirálovité dráhy znamenat, že částice ztrácí rychlost, magnetické pole tak více zakřivuje její trajektorii a tudíž proud částic musí vstupovat zdola.
2. Na některých místech se z ničeho nic objevuje „véčko“. Co se zde mohlo stát? Které částice z nich asi vychází? Neutrálně nabitá částice dala vzniknout dvěma opačně nabitým částicím. Z tří částic zmíněných v zadání je neutrální pouze foton, „véčko“ je tedy tvořeno párem elektron a pozitron.
3. Proč jsou stopy částic zakroucené? Čím se liší částice mířící na opačné strany? Na částice působí Lorentzova síla. Protože je kolmá na směr letu částice, dráhu částice zakřivuje. Pokud někdo namítne, že to ještě nevysvětluje, proč je drahou částice spirála, má pravdu; částice navíc ztrácí energii tím, jak prochází prostředím (ionizuje atomy, kolem kterých prolétá), čímž ztrácí i hybnost (rychlost) a se snížením hybnosti se zmenšuje i poloměr křivosti dráhy částice. Tím se dráha zkroutí do spirály. Částice mířící na opačné strany jsou opačně nabitě.
4. Kterým směrem míří magnetické pole? Můžeme to zjistit? Pokud ne, co bychom potřebovali znát? Potřebovali bychom znát náboj alespoň jedné z částic, abychom podle jejího směru a zakřivení s pomocí Flemingova pravidla určili směr **B**. Je však možné si všimnout několika stop elektronů vyražených ze své dráhy jinými částicemi (jsou vidět např. u dvojice částic procházejících horizontálně rovnoběžně v horní části obrázku, nebo u dlouhé stopy procházející celým obrázkem zdola nahoru mírně vlevo od středu). Protože pozitrony by se v tomto místě neobjevily (na rozdíl od elektronů nejsou přítomny ve výplni komory, musí to být elektrony). Magnetické pole tedy míří ven z obrázku.

### Úkol 2

1. Tři vybarvené dráhy (fialová, zelená a žlutá) jsou stopy elektronů. Kde se v komoře mohly vzít elektrony? Který z nich má největší hybnost, proč? Elektrony pochází z atomů vodíku, kterým je komora naplněna. Prolétající částice narazila do elektronu a vyrazila jej z atomu. Největší hybnost má zelený elektron, jeho spirála má na začátku největší poloměr – nejdéle trvalo, než všechnu energii ztratil.
2. Kterým směrem magnetické pole? Dokážeme to z obrázku určit? Pokud ne, co bychom potřebovali ještě znát? Když víme, že spirálky patří k elektronům, pomocí Flemingova pravidla snadno určíme směr. Míří ven z obrázku.

### Úkol 3

1. Vidíme na této fotografii nějakou již dříve diskutovanou událost? Ve střední části obrázku se nachází spirálka vyraženého elektronu.
2. Kolik drah částic vychází z bodu A? Jak jsou nabitě? Splňují zákon zachování náboje? Které

částice zde mohly interagovat? Vychází dvě stopy, obě částice mají náboj stejného znaménka (jsou zakřivené stejným směrem). Protože se jedná o snímky ze stejné komory jako v předchozím úkolu, můžeme předpokládat, že magnetické pole míří ven z obrázku, jak jsme určili tam. Částice jsou tedy nabitě kladně. Potvrdit nám to může spirálka vyraženého elektronu ve střední části obrázku.

Do bodu A na první pohled vchází jedna kladně nabitá částice (proton) a vychází dvě kladně nabitě. To by zákon zachování hybnosti nesplňovalo. Proton tedy musel narazit do „stojícího“ protonu z vodíkové výplně komory a z bodu A vylétají dva protony. Studenti mají pravdu, pokud je napadne, že interakce se mohla zúčastnit i nějaká nenabitá částice, ale dokazování její přítomnosti je již nad rámec tohoto pracovního listu.

3. Kolik drah částic vychází z bodu B? Která z částic má asi větší hybnost? Proč právě ta? Jak jsou nabitě? Splňují zákon zachování náboje? Které částice v zde mohly interagovat? Vychází tři dráhy. Nejméně zakřivenou dráhu má částice uprostřed, ta tedy bude mít největší hybnost. Dvě částice jsou kladné, jedna záporná – to určíme ze zakřivení jejich drah. Muselo zde dojít k interakci nenabitě částice, protože do bodu B žádná dráha nevede. Může nás napadnout, že nenabitá částice narazila do protonu a tedy do interakce vstupuje jeden kladný náboj a vystupují dva kladné a jeden záporný. Čistě teoreticky bychom mohli namítnout, že do interakce vstupuje pouze nenabitá částice, která se rozpadá na dvě kladné částice se stejným nábojem a jednu zápornou částici s dvojnásobným nábojem a podobné kombinace.