



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Studies

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta
Ústav radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva

bakalářská práce

Teorie jaderné fyziky pro radiologické asistenty

Vypracoval: Kamila Šimková

Vedoucí práce: doc. RNDr. Přemysl Zaškodný, CSc.

České Budějovice 2016

Abstrakt

V současné době není volně k dispozici jednoduchý edukační text na téma základů jaderné fyziky, který by byl přiměřený znalostem studentů studijního oboru radiologický asistent a dalších příbuzných oborů. Studijní materiály, které jsou v současnosti využívány, jsou needukačním přepisem vědeckých poznatků a vyžadují od přednášejícího přípravu, aby studijní látka byla studenty správně a ve stanovené vyučovací době správně pochopena.

Potřeba vymezení edukační verze jaderné fyziky pro radiologické asistenty byla důvodem zpracování a předložení bakalářské práce. Odtud vyplynulo vytyčení několika cílů:

- vytvořit očekávané, projektové a implementované kurikulum (vytvořit srozumitelný edukační text a ověřit jeho přiměřenost) v oblasti základů jaderné fyziky pro radiologické asistenty,
- ověřit vhodnost projektového kurikula pomocí experimentální výuky a následného ověření dotazníkovým šetřením.
- aplikovat metody deskriptivní statistiky a statistiky matematické.

Bakalářská práce zvolila v rámci kvantitativního výzkumu jako výchozí edukační teorii teorii kurikulárního procesu. Vysvětluje význam slova kurikulum, který původně znamenal pouze učivo, postupným vývojem se tento význam upřesňoval, rozšiřoval a měnil.

V předložené bakalářské práci pojem kurikulum zahrnuje:

- proces vzdělávání, zahrnující popis základů jaderné fyziky pro radiologické asistenty,
- zpracování srozumitelného edukačního textu, který studentům vhodným a jednoduchým způsobem základy jaderné fyziky přiblíží po stránce teoretické formou prezentace výukového materiálu,
- experimentální výuku studentů oboru radiologický asistent na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích a následné ověření osvojených znalostí studentů testem,

- vyhodnocení vzdělávací koncepce v oblasti vybraných teoretických základů jaderné fyziky následnou aplikací statistických metod.

Teorie kurikulárního procesu spojuje kurikulární proces radiologické fyziky (v oblasti teoretických základů jaderné fyziky) s transformacemi edukační komunikace fyziky pro posluchače radiologických oborů. Tento proces byl formulován v České republice J. Brockmeyerovou, J. Průchou, P. Tarábkem, P. Záškodným. Zjednodušeně lze tato spojení definovat jako posloupnost následujících transformací T^1 až T^5 - od vědeckého systému, přes vhodný výukový materiál prostřednictvím sdílitelného „laického“ vysvětlení, až k osvojení vymezených poznatků adresáty edukace.

Transformace T^1 – „konceptuální kurikulum“

Vědecký systém fyziky → Sdílitelný vědecký systém fyziky (od vědeckého systému ke sdílitelnému vědeckému systému)

Transformace T^2 – „zamýšlené kurikulum“

Sdílitelný vědecký systém → Didaktický (edukační) systém (od sdílitelného vědeckého systému ke vzdělávacímu systému)

Transformace T^3 – „projektové kurikulum“

Didaktický (edukační) systém → Výukový projekt (výukový text, příprava k výuce)(od vzdělávacího systému k výukovému projektu)

Transformace T^4 – „implementované kurikulum-1“

– „implementované kurikulum-2“

Výukový projekt → Výsledky výuky (od výukového projektu k realizaci výuky, připravenost pedagoga)

Transformace T^5 – „dosažené kurikulum“

Výsledky výuky → Aplikovatelné výsledky výuky (od realizace výuky k uplatnění dosažených výsledků výuky). [1]

V další části bakalářské práce jsou analyzovány dostupné informace k teoretickým základům jaderné fyziky s vazbou na znalosti potřebné pro radiologické asistenty (transformace T^1). Úvodem jsou zmíněny i základní veličiny používané v teorii jaderné fyziky, se kterými by měli být studenti seznámeni.

Výše uvedené poznatky z oblasti teoretických základů jaderné fyziky byly zpracovány do edukačního textu pro experimentální výuku. K ověření poznatků osvojených studenty byl vytvořen edukační test s 24 otázkami, vždy s jednou správnou odpovědí u každé otázky. (test uveden v Příloze 2). Studentům jiných univerzit byl tento edukační text spolu s edukačním testem zaslán elektronicky.

Stupeň dosažených znalostí studentů byl vyhodnocen statistickým šetřením. Vedle metod deskriptivní statistiky bylo využito také neparametrického testování hypotéz v rámci uskutečněného kvantitativního výzkumu.

Bakalářská práce vycházela z ověřování dvou hypotéz.

Hypotéza první: Aplikací teorie kurikulárního procesu a vytvořením přiměřeného edukačního textu lze zpracovat teoretické základy jaderné fyziky pro radiologické asistenty.

Hypotéza druhá: Znalosti radiologických asistentů z oblasti teoretických základů jaderné fyziky získané předložením vypracovaného edukačního testu budou mít rozdělení blízké normálnímu rozdělení.

Na základě neparametrického testování bylo zjištěno, že znalosti studentů lze vyjádřit Gaussovým rozdělením. Hypotéza první i druhá byla potvrzena tím, že zpracovaný edukační text popisující teoretické základy jaderné fyziky pro radiologické asistenty, byl pro studenty radiologických oborů přiměřený, a výsledky testování odpovídají normálnímu rozdělení.

Na základě ověřených hypotéz lze považovat cíle bakalářské práce za splněné. Také lze usuzovat, že edukační text i test budou vhodným materiálem pro výuku teoretických základů jaderné fyziky pro radiologické obory a obory příbuzné a rovněž přínosem pro orientaci z hlediska širší veřejnosti.

Přínosem bakalářské práce je vypracovaný edukační text i test, který lze využít pro výuku teoretických základů jaderné fyziky. Po zhodnocení výsledků jednotlivých otázek lze doporučit zkvalitnění fyzikální přípravy studentů v oblastech, kde bylo dosaženo slabších znalostí.

Klíčová slova: jaderná fyzika, kurikulární proces, konceptuální kurikulum, očekávané kurikulum, projektové kurikulum, implementované kurikulum, kvantitativní výzkum

Abstract

Currently there is not freely available any simple educational text on the subject of nuclear physics foundations, which would be adequate to the knowledge of students in the field of Radiology Assistant and other related fields. Study materials that are commonly used are mere transcripts of a scientific knowledge which needs to be adjusted by the presenter in order to be correctly understood by students within the stipulated time.

The need for defining an educational version of a nuclear physics for Radiology Assistant resulted in preparation and submission of this thesis. During the process several objectives emerged:

- create awaited, projected and implemented curriculum (create comprehensible educational text and verify its adequacy) on the subject of nuclear physics foundations for Radiology Assistant

- verify the suitability of the project curriculum using the experimental teaching followed by subsequent verification with questionnaire survey

- apply methods of descriptive statistics and mathematical statistics

In this thesis was in the context of quantitative research chosen a curricular process theory as an initial educational theory. The text also explains the meaning of the term curriculum, which originally meant only schoolwork, gradually was the meaning developed, specified, expanded and changed.

In the submitted thesis the term curriculum includes:

- educational process, including a description of the foundations of nuclear physics for Radiology Assistant

- processing of understandable educational text that explains in an appropriate and simple way the theoretical foundations of nuclear physics to the students in the form of presentation of educational material

- experimental teaching of students majoring in the field of Radiology Assistant at the University of South Bohemia in České Budějovice and subsequent verification of acquired knowledge by test

- evaluation of educational concepts in the area of theoretical foundations of nuclear physics followed by the application of statistical methods

The curricular process theory combines curricular process of radiological physics (in the area of theoretical foundations of nuclear physics) with the transformations of educational communication of physics for students of radiological branches. This process was formulated in the Czech Republic by J. Brockmeyerová, J. Průcha, P. Tarábek, P. Záškodný. It can be simply defined as the combination of the following sequences of transformations T1 to T5 – from a scientific system through appropriate educational material via communicable laic explanation to the acquisition of knowledge by addressees of education.

Transformation T1 – “conceptual curriculum”

scientific system of physics → communicable scientific system of physics (from the science system into communicable scientific system)

Transformation T2 – “intended curriculum”

communicable scientific system → didactic (educational) system (from communicable scientific system into educational system)

Transformation T3 – “project curriculum”

didactic (educational) system => educational project (tutorial text, preparation for teaching) from the educational system to the training project

Transformation T4 – “implemented curriculum - 1”

- “implemented curriculum - 2”

Educational project => results of teaching (from educational project to teaching, teacher’s preparedness)

Transformation T5- “achieved curriculum”

results of teaching => applicable teaching results (from teaching to application of achieved knowledge) [1]

In the following part of the thesis are analyzed information available to the theoretical foundations of nuclear physics linked to the knowledge necessary for radiology assistants (transformation T1). There are also mentioned basic variables used in the theory of nuclear physics which should be familiar to the students.

Above mentioned findings from the field of theoretical foundations of nuclear physics have been incorporated into the educational text for experimental teaching. To validate students' acquired knowledge, was created educational test with 24 questions, each with one correct answer (test is set out in Appendix 2). These educational texts and test were sent to students of other universities electronically.

The degree of students' acquired knowledge was evaluated by statistical survey. Besides the methods of descriptive statistics was used also nonparametric testing of hypotheses within the quantitative research.

This thesis was based on two hypotheses verification.

1st hypothesis: By application of curricular process theory and developing appropriate educational text can be processed theoretical foundations of nuclear physics for Radiology Assistants.

2nd hypothesis: Knowledge of Radiology Assistants in the field of theoretical foundations of nuclear physics obtained from drawn up educational text will have distribution near to the normal distribution.

Based on nonparametric test, it was found that the knowledge of the students can be expressed by Gaussian distribution. Both first and second hypothesis were confirmed by the fact that the educational text describing the theoretical foundations of nuclear physics for Radiology Assistant was adequate to the students in radiological branches and the test results corresponded with the normal distribution.

On the basis of verified hypotheses can be objectives of the thesis considered fulfilled. Also, it can be concluded that the educational text and the test will be suitable materials for theoretical foundations of nuclear physics for radiology sciences and related fields and also contribute to the orientation of the broader public.

Contribution of the thesis is the elaborated educational text and test that can be used for teaching theoretical foundations of nuclear physics. After evaluation of individual

questions in the test, can be recommended to focus on students' knowledge in those areas where lower scores were achieved.

Key words: nuclear physics, curricular process, conceptual curriculum, expected curriculum, project curriculum, implemented curriculum, quantitative research

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to – v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 23. 4. 2016

.....
Kamila Šimková

Poděkování

Děkuji velice panu doc. RNDr. Přemyslu Záškodnému, CSc. za odborné vedení bakalářské práce, jeho laskavý přístup a za jeho cenné rady při zpracování této bakalářské práce. Dále děkuji všem respondentům za pomoc při realizaci průzkumného šetření. Také děkuji své rodině za trpělivost a shovívavost, kterou oplývali po celou dobu studia a při zpracování bakalářské práce.

Obsah

Úvod	14
1 Teoretická část	15
1.1 Teorie kurikulárního procesu.....	15
1.1.1 Vymezení pojmu kurikulum.....	15
1.1.2 Dělení kurikula	16
1.1.3 Metoda kurikulárního procesu v teoretických základech jaderné fyziky	18
1.2 Teoretické základy jaderné fyziky.....	18
1.2.1 Stavba atomového jádra	19
1.2.2 Jaderné záření	25
1.2.3 Rozpadový (přeměnový) zákon.....	27
1.2.4 Absorpční zákon	29
1.2.5 Veličiny a jednotky jaderného záření	32
1.2.6 Detekce a dozimetrie jaderného záření.....	35
1.2.7 Urychlování nabitých částic jaderného záření.....	38
1.2.8 Jaderné reakce (transmutace prvků)	42
1.3 Použité statistické metody	44
2 Hypotézy a metodiky výzkumu	46
2.1 Hypotézy a cíle práce.....	46
2.2 Metodika výzkumu	46
3 Výsledky	55
3.1 Konceptuální kurikulum	55
3.2 Zamýšlené kurikulum	55
3.3 Projektové kurikulum	55
3.4 Implementované kurikulum-1.....	55
3.5 Implementované kurikulum-2.....	56
4 Diskuze.....	65

5	Závěr	68
6	Seznam informačních zdrojů.....	69
7	Seznam obrázků, tabulek, grafů	72
8	Přílohy	73
8.1	Příloha 1	73
8.2	Příloha 2	88

Úvod

V současnosti nebyl nalezen volně k dispozici jednoduchý edukační text na téma teoretických základů jaderné fyziky, který by byl přiměřený znalostem studentů studijního oboru radiologický asistent a dalších příbuzných oborů. Vzdělávací materiály, které jsou v České republice dostupné, jsou spíše přepisem vědeckých poznatků a vyžadují od přednášejícího vlastní přípravu, aby vyučovaná látka byla studenty správně pochopena. Tento problém bude řešit předkládaná bakalářská práce.

V práci byly stanoveny následující cíle:

- vytvořit očekávané, projektové a implementované kurikulum v oblasti teorie jaderné fyziky pro radiologické asistenty a obory příbuzné,
- následně vyhodnotit přiměřenost projektového kurikula pomocí experimentální výuky,
- ověřit edukační funkci tohoto textu a statisticky vyhodnotit dosažené výsledky.

V první části bakalářské práce je přiblížena a vysvětlena teorie kurikulárního procesu a jeho aplikace na fyzikální znalosti radiologických asistentů a oborů příbuzných jako jedna z možností přepisu vědeckých poznatků do textu vhodného pro nevědeckou část populace. Budou zde popsány některé základní pojmy a poznatky z teoretických základů jaderné fyziky. Jedním z cílů předkládané bakalářské práce bude vytvoření a zpracování srozumitelného edukačního textu a jeho ověření z hlediska potřeb a možností adresátů edukace (Příloha 1). Při splnění uvedených parametrů lze pak edukační text předložit jako vhodný výukový materiál.

1 Teoretická část

1.1 Teorie kurikulárního procesu

1.1.1 Vymezení pojmu kurikulum

Kurikulum můžeme chápat jako proces vzdělávání a výchovy, který student získává ve vzdělávacím prostředí, a činnosti, které jsou spojeny s jeho osvojováním a následným hodnocením. [1]

Slovo “kurikulum” pochází z latinského slova curriculum (běh, závodní dráha, vůz), v dalším významu pak vyjadřuje posun po plánované cestě (trase).

V pedagogice vyjadřovalo toto označení pouze učivo, postupem času se jeho význam rozšiřoval a měnil. V současnosti se uvádí více než stovka definic kurikula, které se vztahují k různým vzdělávacím koncepcím a jednotlivým výkladům autorů. [5]

Kurikulum je nestabilní konstrukt, vytváří systém složitých vazeb, v nichž si dominantní postavení zachovává obsah (učivo). [2]

Z uvedeného vyplývá, že kurikulum představuje nejčastěji vzdělávací program, obsah vzdělávání (co si mají studenti osvojit), vztahy ve vzdělávání, prostředí pro vzdělávání, jeho průběh a výsledky. [5]

Zavedení pojmu kurikulum do pedagogiky je třeba považovat za velmi perspektivní. Vyjadřuje skutečnost, že škola a její obsah jsou součástí života člověka a společnosti a že vzdělávání je celoživotní záležitostí. V pojmu kurikulum je obsaženo, že se jedná o tvorbu životopisu každého adresáta edukace ve vzdělávací instituci – např. škole. Jeho skutečná podoba reflektuje nejen záměry a aktivity účastníků edukačního procesu, ale také spoluúčast celé společnosti, která má své požadavky na vzdělávání dalších generací. [3]

Pojmem kurikulum se rozumí většinou struktura učebního plánu a sled předmětů, specifické obsahy látky, souhrn zkušeností, které získávají adresáti edukace, vyučovací metody, prostředky a pomůcky, které odpovídají daným obsahům, adekvátní příprava edukátorů. [4]

Kurikulum nelze chápat jako neměnné vymezení vzdělávání, ale jako vývojem se obměňující proces, který musí být ve shodě s potřebami a hodnotami společnosti a s potřebami adresátů edukace. Jedná se o živý „organismus“, který se vyvíjí zejména na základě zkušeností s jeho realizací v praxi. Kurikulum bylo vždy rozvíjeno a zkoumáno a v edukačním procesu má dlouholetou tradici. Stále probíhají výzkumy zaměřené na ověření kvality výuky podle nových kurikulárních metod a textů a na zohledňování potřeb edukantů a edukátorů [5]

Kurikulum hledá odpovědi na komplex základních otázek pedagogické teorie a praxe, které lze jednoduše formulovat v odpovědích na následující otázky:

CO? – bude hlavním obsahem

KOHO? - pro jakou část populace je program připravován

JAK? – budeme postupovat, jaké formy, metody a učební strategie budou využity

PROČ? – právě tento cíl, jaký je smysl připraveného vzdělávacího programu

KDE? – podmínky, které potřebujeme k uskutečnění cíle, jaké vybavení

V ČEM? – je zásadní význam pro vzdělávaného

VÝSLEDKY? – kterých jsme skutečně dosáhli.

[5]

1.1.2 Dělení kurikula

Obsah kurikula je možné dělit do několika dimenzí.

- Dimenze ideová: představuje obecné i konkrétní cíle, jež se mají realizovat (cíl, vize, plány).

- Dimenze obsahová: týká se konkrétního učiva, zpracování edukačního textu teoretických základů jaderné fyziky, jde tedy o to, jak učivo prochází edukačním procesem.

- Dimenze organizační: vztahuje se k osnovám a standardům, které řeší podmínky, v nichž se výuka realizuje.

- Dimenze metodická: zahrnuje metody a formy, jakými je učivo předáváno. Jde o vyučovací styl a didaktické prostředky.[1][6]

Terminologicky se rozlišuje formální, neformální a skryté kurikulum.

Formální kurikulum je komplexní projekt cílů, obsahu, prostředků a organizace vzdělávání, realizace projektovaného kurikula ve vzdělávacím procesu, způsoby kontroly a hodnocení výsledků výuky.

Neformální kurikulum zahrnuje aktivity a zkušenosti vztahující se ke škole (mimotřídní a mimoškolní aktivity organizované školou, např. exkurze), domácí studium, úkoly a příprava na vyučování.

Skryté kurikulum postihuje další souvislosti života školy, které nejsou obvykle vyjádřeny v programech a jsou obtížně postižitelné: vzdělávací hodnoty, vztahy mezi vyučovaným a vyučujícím, pravidla chování, sociální strukturu třídy, implicitní obsah učebnic apod.[7]

Formy kurikula: [9]

Konceptuální kurikulum

Soubor toho, co má být vy školách obsahem vzdělávání. Hlavní myšlenka, to co má být sděleno.

Zamýšlené kurikulum

Plánování cílů a náplně vzdělávání – učební osnovy a učebnice.

Projektové kurikulum

Realizační forma – tvorba edukačního textu.

Implementované kurikulum-1

Příprava vyučujícího na výuku, příprava výukových materiálů.

Implementované kurikulum-2

Kontrola výsledků výuky projektového kurikula, zda bylo učivo pochopeno adresáty edukace.

Dosažené kurikulum

Výsledky výuky. To co si adresáti edukace skutečně osvojili a možnosti použití v mimoškolním životě. [6,9]

1.1.3 Metoda kurikulárního procesu v teoretických základech jaderné fyziky

Během kurikulárního procesu v oblasti teorie jaderné fyziky prodělávají fyzikální poznatky několik významných transformací z úrovně vědecké, jež je pro většinu populace obtížně pochopitelná, na úroveň srozumitelnou edukátorům, adresátům edukace a případně také veřejnosti. [9]

Transformace didaktické (edukační) komunikace fyziky zkoumaného jevu (použité v oblasti teoretických základů jaderné fyziky): [9]

- **Transformace T1** Vstup: Vědecký systém fyziky (teorie jaderné fyziky) → Výstup: Sdílitelný vědecký systém fyziky (teorie jaderné fyziky).
- **Transformace T2** Vstup: Sdílitelný vědecký systém teorie jaderné fyziky, jeho obsahová transformace → Výstup: Edukační systém fyziky a jeho učivo.
- **Transformace T3** Vstup: Didaktický (edukační) systém fyziky a jeho učivo jako zamýšlené kurikulum → Výstup: Výukový projekt teorie jaderné fyziky a jeho učebnice a připravenost učitele na výuku. Vytvoření srozumitelného edukačního textu.
- **Transformace T4** Vstup: Výukový projekt jaderné fyziky a jeho učebnice a připravenost vyučujícího na výuku. → Výstup: Výsledky výuky teoretických základů jaderné fyziky. Předložení vytvořeného edukačního testu studentům a následné statistické zpracování jejich znalostí.
- **Transformace T5** Vstup: Výsledky výuky teorie jaderné fyziky jako implementované kurikulum Výstup: Aplikovatelné výsledky výuky teorie jaderné fyziky. Závěrečné celkové vyhodnocení statistických výsledků. Konstatování správnosti hypotéz. [8,9]

1.2 Teoretické základy jaderné fyziky

Fyzika (z řeckého – physikos) je vědní obor, který zkoumá zákonitosti přírodních jevů a objektů. Popisuje vlastnosti a projevy hmoty, antihmoty, vakua, přírodních sil,

světla i neviditelného záření, tepla, zvuku atd. Vztahy mezi těmito objekty fyzika vyjadřuje matematickými prostředky. Poznatky fyziky se aplikují v praxi, což přispívá k rozvoji civilizace. [13]

Podle velikosti lze fyzikální objekty dělit do tří kategorií: makrofyzikální objekty (makrosvět), mikrofyzikální objekty (mikrosvět) a megafyzikální objekty (megasvět).[10]

Makrofyzikální objekty jsou přístupné přímému pozorování smysly, optickým mikroskopem nebo dalekohledem. Patří mezi ně pozemské objekty až k velkým molekulám, ale také Slunce s planetami a hvězdy tvořící galaxii. Makrofyzika vykládá stavy a změny stavů makrofyzikálních objektů a často přitom nepřihlíží k mikrostruktuře látek a interakcím mikroobjektů. K makrofyzice patří celá klasická fyzika s výjimkou molekulové fyziky (kinetické teorie látek). [10]

Mikrofyzikální objekty jsou přístupny pozorování nejmodernějšími elektronovými a iontovými mikroskopy, z části lze jejich existenci dokázat nepřímými experimentálními metodami. Mezi mikroobjekty patří zejména molekuly, atomy, ionty, atomová jádra a elementární částice. Mikrofyzika vykládá stavy a fyzikální jevy spojené s mikroobjekty na základě mikrostrukturálních vlastností těchto objektů. Zahrnuje fyziku molekulovou, atomovou a jadernou, fyziku pevných látek, fyziku vysokých energií a relativistickou a nerelativistickou kvantovou fyziku. [10]

Megafyzikální objekty jsou z části přístupné pozorování nejsilnějšími optickými dalekohledy, z části lze jejich existenci dokázat nepřímými experimentálními metodami. Mezi tyto objekty patří kupy galaxií a nadkupy těchto kup. Z hlediska fyziky patří k megafyzice především obecná teorie relativity a gravitace a další navazující obory (např. speciální teorie relativity). [10]

1.2.1 Stavba atomového jádra

Základním pojmem fyziky je hmota. Atom je základní stavební jednotkou hmoty, je nejmenší částicí hmoty, kterou chemickými prostředky dále nelze dělit, ovšem

fyzikálními ano. Atom se skládá z atomového jádra obsahujícího protony a neutrony a obalu obsahujícího elektrony.

Atomové jádro je vnitřní kladně nabitá část atomu a tvoří jeho hmotnostní i prostorové centrum. Atomové jádro představuje 99,9% hmotnosti atomu. Průměr jádra činí přibližně 10^{-15} m, což je přibližně 100 000x méně, než průměr celého atomu. [13]

Jádro je složeno z protonů a neutronů, tj. nukleonů. Protonové (atomové) číslo Z udává počet protonů, nukleonové (hmotnostní) číslo A udává počet nukleonů (tj. počet protonů i neutronů). Různé izotopy prvku jsou určeny stejným Z a odlišným A , různé izobary jsou určeny stejným A a odlišným Z , nuklid je dán stejným Z a stejným A , izomer je dán vedle stejného Z a stejného A odlišnými radioaktivními vlastnostmi. [10]

Jak je možné, že jádro drží pohromadě? Nukleony uvnitř jádra jsou navzájem k sobě poutány silami, které v zásadě vznikají mezi jejich podsložkami, mezi kvarky a gluony. Tato síla se nazývá silná jaderná interakce. Jsou asi 100-krát silnější než síly elektrické, ale vykazují jednu specifickou zvláštnost – mají krátký dosah. [12]

Čtyři základní fyzikální interakce:

Vzájemné působení mezi částicemi látky lze vysvětlit na úrovni atomových jader a elementárních částic.

Silná interakce – důležitá především tím, že udržuje pohromadě atomová jádra (primárně kvarky slučuje do protonů a neutronů, mezonů a dalších hadronů). Silná interakce je odpovědná za to, že objekty (hvězdy, lidé, ...) jsou těžké. Většina hmotnosti daného objektu je soustředěna právě v atomovém jádru. [12]

Slabá interakce – uplatňuje se při vzájemných přeměnách neutronů a protonů za účasti neutrin, v praxi např. při radioaktivitě beta. Slabá jaderná síla – jedná se o interakci, která způsobuje např. β rozpad. Podléhají jí částice, které nejsou nabitě (např. neutrina). Bez této interakce by se příroda obešla: 95 % částic by

se jen přestala rozpadat. Tato interakce je tedy zodpovědná nikoliv za stabilitu mikroobjektů, ale za jejich přeměnu, případně rozpad. [10,12]

Elektromagnetická interakce – určité druhy částic, které nazýváme elektricky nabitě, vykazují vzájemné silové působení. Jsou-li tyto elektricky nabitě částice v klidu, působí mezi nimi přitažlivá nebo odpudivá elektrická síla podle Coulombova zákona, jsou-li v pohybu, přistupuje ještě síla magnetická, při nerovnoměrných pohybech nábojů pak i vyzařování elektromagnetických vln – fotonového záření. Elektromagnetická interakce má dlouhý dosah (dosah je nekonečný). Její velikost je nulová v nekonečné vzdálenosti od nabitě částice. Tato interakce fixuje velikost atomů, strukturu pevné látky, způsobuje vazbu mezi elektronem a jádrem, ... Elektromagnetická síla tedy vytváří objem objektů. Většina sil z běžného života (třecí síly, odporové síly, ...) jsou projevem právě elektromagnetické interakce.[12,10]

Gravitační interakce - ve světě částic je její účinek zanedbatelně malý. Její význam je ale dominantní pro astronomii - drží pohromadě soustavy nebeských těles. Její silové projevy jsou v klasické fyzice popsány Newtonovým gravitačním zákonem, v relativistické Einsteinovými rovnicemi gravitačního pole. Na rozdíl od elektromagnetické interakce nelze gravitační interakci žádným způsobem odstínit. Malý účinek této interakce v mikrosvětě je dán malou hmotností objektů mikrosvěta. Gravitační síla je téměř zanedbatelná.[10,12]

Druh pole	Zdroj pole	Dosah	Kvantum
Elektromagnetické pole	elektrický náboj	neomezený	foton
Gravitační pole	hmotnost	neomezený	graviton (hypotetická částice)
Silné jaderné pole	barva	10^{-15} m	gluony
Slabé jaderné pole	vůně	10^{-18} m	intermediární bosony (W^+ , W^- , Z^0)

Obr. 1. Standardní model částicové fyziky. Dostupné z:

http://www.wikiskripta.eu/index.php/Standardn%C3%AD_model_%C4%8D%C3%A1sticov%C3%A9_fyziky

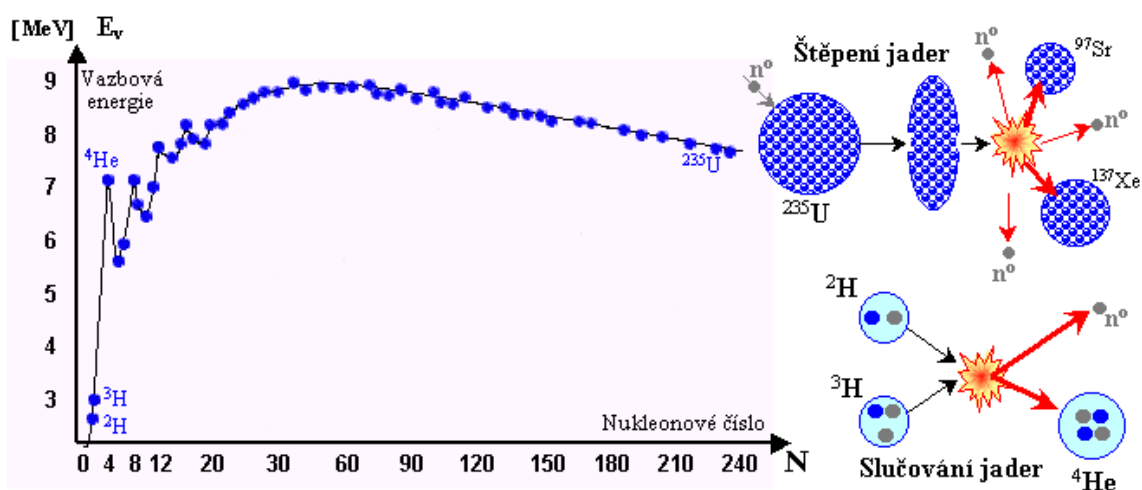
Jaderné reakce jsou změny v atomu, které se netýkají elektronového obalu, ale pouze jádra. Celková hmotnost jádra je nižší, než by byla hmotnost částic, které je tvoří. Každé jádro, kromě jádra vodíku váží méně, než by mělo. Tento jev se nazývá **hmotnostní defekt jádra B_j** . [14]

B_j je dán vztahem $B_j = Z \cdot m_p + (A - Z)m_n - m_j$, kde m_p a m_n jsou klidové hmotnosti protonu a neutronu, m_j je klidová hmotnost jádra. Míra úbytku hmotnosti se udává **koeficientem stěsnání jádra P** . Je to bezrozměrné číslo definované vztahem $P = (A_r - A) / A$. A_r je relativní atomová hmotnost, která udává, kolikrát je atom hmotnější než 1/12 nuklidu uhlíku $^{12}_6C$. Hmotnost 1/12 nuklidu uhlíku $^{12}_6C$ definuje atomovou hmotnostní konstantu (atomovou hmotnostní jednotku) m_u a má hodnotu $m_u = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg. Hmotnost m atomu s relativní atomovou hmotností A_r je $m = A_r \cdot m_u$. Relativní atomová hmotnost protonu je 1,007, neutronu 1,009, elektronu 0,00055, lehkého vodíku 1,00755. [10]

Koeficient stěsnání jádra P je roven nule jen pro izotop uhlíku $^{12}_6C$. Atomy se jadernými reakcemi postupně přeměňují na atomy s větším koeficientem stěsnání. Se vzrůstajícím protonovým číslem od vodíku koeficient stěsnání nejprve klesá a pak začne

opět vzrůstat. Výrazné minimum pro středně těžké prvky. Atomy s vyšším koeficientem stěsnání jsou obvykle stabilnější, proto jsou prvky s vysokým protonovým číslem často radioaktivní. [14]

Vazební energie jádra je pak dána vztahem $W_j = B_j \cdot c^2$. Tuto energii je třeba jádru dodat, aby se již vytvořené jádro rozložilo na volné nukleony. Vazební energie jádra vztažená na jeden nukleon je mírou stability jádra a jeví maxima pro jádra s plně obsazenými slupkami protony a neutrony, pro $A > 30$ se vazební energie vztažená na jeden nukleon již příliš nemění. Tento fakt je v souladu s poznatkem, že jaderné síly jsou síly krátkého dosahu a uplatňují se hlavně mezi dvěma sousedními nukleony.



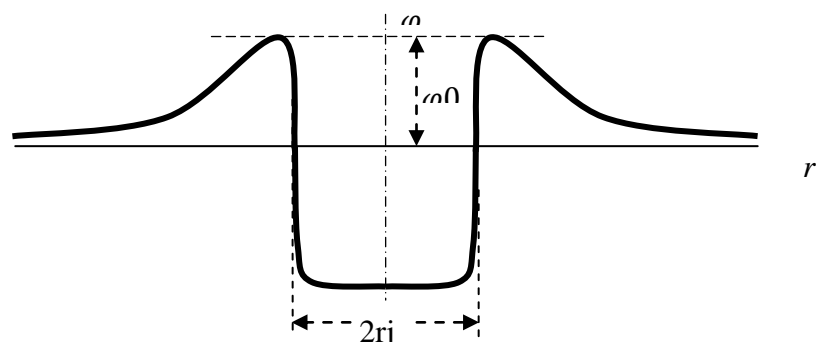
Obr. 2. Závislost vazební energie jádra vztažené na jeden nukleon na nukleonovém čísle jádra. Pravá část obrázku se týká dvou způsobů uvolnění vazební jaderné energie. Dostupné z <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika.htm#Jadro>

Slupkový model jádra je nejdůležitějším modelem atomového jádra, který nejuvěstičněji zachycuje vlastnosti atomových jader. Je založen na představě, že nukleony se pohybují v celkovém poli jádra (vytvářeném všemi nukleony) a určitých energetických sférách či slupkách, analogicky jako elektrony v atomovém obalu podle Bohrova modelu. I stacionární stavy jádra jsou charakterizovány kvantovými čísly. Hlavním kvantovým číslem n , orbitálním kvantovým číslem l a magnetickým kvantovým číslem m , jejichž význam je analogický jako u atomových elektronů. Atomová jádra vykazují jednak „mechanický“ moment hybnosti I , označovaný jako spin (skládá se z vlastních spinů nukleonů a z jejich orbitálního pohybu), magnetický

moment a též elektrický kvadrupólový moment (charakterizující míru deformace jádra od kulového tvaru). Nukleony jsou fermiony, takže na každé slupce se může nacházet určitý maximální počet nukleonů, protonové a neutronové slupky se zaplňují nezávisle. Slupka s maximálním obsazením nukleonů představuje mimořádně stabilní jádro, analogicky jako atom s úplně zaplněnými elektronovými hladinami. Ukazuje se, že zaplnění protonových a neutronových slupek nastává při celkovém počtu protonů nebo neutronů : 2,8,20,28,50,82,126 – tato čísla byla nazvána magická čísla. [12]

Poloměr jádra má úzkou vazbu např. na Hamiltonův operátor $\hat{H} = \hat{T} + \hat{V}$ pro protony a neutrony v jádře. Operátor potenciální energie \hat{V} je složen ze záporné potenciální energie přitažlivé jaderné síly a z kladné potenciální energie odpudivé Coulombovské síly. Průběh celkové potenciální energie V v závislosti na vzdálenosti od „středu“ *jádra* odráží velkou převahu jaderných sil nad silami Coulombovskými v rámci krátkého dosahu jaderných sil a převahu Coulombovských sil ve větších vzdálenostech, v nichž jaderné síly nepůsobí. Průběh výsledného potenciálu φ (potenciální energie V vztažené na jednotkový náboj) v okolí jádra s nábojem Ze má tvar pravoúhlé jámy, která je obklopena elektrostatickým potenciálovým valem pomalu ubývajícím se vzdáleností od okraje pravoúhlé jámy. Výška potenciálového valu na okraji potenciálové jámy je rovna elektrostatickému potenciálu φ_0 ve vzdálenosti r_j , kde r_j je poloměr potenciálové jámy. Právě poloměr r_j potenciálové jámy lze prohlásit za poloměr jádra. Empiricky zjištěný vztah pro poloměr jádra je dán závislostí $r_j = R\sqrt[3]{A}$, kde konstanta $R \sim 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 1,3 \text{ fm}$ má význam dosahu jaderných sil. [10]

Spin je kvantová vlastnost elementárních částic. Jde o vnitřní moment hybnosti částice v tom smyslu, že spiny částic přispívají k celkovému momentu hybnosti soustavy. Jeho velikost je pro každou částici přesně daná, nelze ji nijak měnit. Např. celkový spin a magnetický moment jader hélia (alfa částic) je nulový, jádra hélia se chovají jako bosony. [10,13]

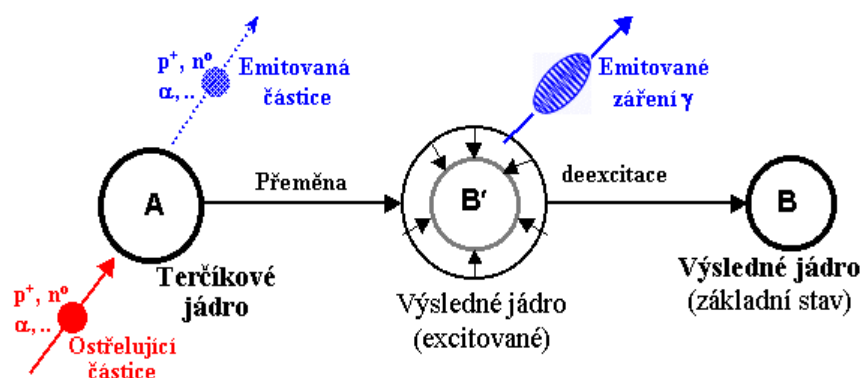


Obr. 3 Průběh výsledného potenciálu v okolí jádra s nábojem Ze (potenciálová jáma jádra) zdroj: ZÁŠKODNÝ, P. Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii). Bratislava: DIDAKTIS, 2005. ISBN 80-89160-25-5.

1.2.2 Jaderné záření

Spontánní rozpad či přeměna jader (radioaktivita), je jedním z jaderných procesů vedoucích k transmutaci jader a emisi ionizujícího záření. [12]

Pod jadernými reakcemi v jaderné fyzice rozumíme procesy, kdy se dva nukleony, nebo dvě jádra, nebo nukleon či jiná částice a jádro, přiblíží k sobě, vstoupí do oblasti působení silné jaderné interakce, což vyvolá v jádrech změny jejich počtu, energií a konfigurací nukleonů, které mohou vést k emisi dalších částic. Výsledkem je transmutace jádra – buď na jiný izotop téhož prvku (změna počtu neutronů), nebo na jádro jiného prvku (změna počtu protonů). Nové jádro vzniká téměř vždy ve vzbuzeném stavu, při jeho deexcitaci je emitováno záření γ . Jádra přeměněná při jaderných reakcích jsou často radioaktivní (většinou β^- či β^+) jaderné reakce jsou proto nejdůležitějším způsobem výroby umělých radionuklidů. [12]



Obr. 4. Základní schéma jaderné reakce vyvolané částicí ostřelující jádro. Dostupné z <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika3.htm>

Radioaktivita neboli radioaktivní přeměna je jev, při němž dochází k samovolné vnitřní přeměně složení nebo energetického stavu atomových jader, přičemž je emitováno vysokoenergetické záření. Jádra vykazující tuto vlastnost se nazývají nuklidy. Při vysílání jaderného záření se mění původní (mateřské) prvky na prvky dceřiné – přeměna nestabilních jader v jádra stabilní (někdy i se změnou chemické podstaty prvku). [13,10]

Radioaktivitu objevil v roce 1895 Henri Becquerel u solí uranu. K objasnění podstaty radioaktivity zásadním způsobem přispěli francouzští fyzikové Pierre Curie a Marie Curie-Sklodovská, která byla polského původu.[13]

Radioaktivita se dělí na přirozenou a umělou:

Přirozená radioaktivita je důsledkem samovolné přeměny spontánně se měnících jader, která se vyskytují v přírodě. Při přirozené radioaktivní přeměně jsou vysílána záření alfa, beta a gama. Přirozeně radioaktivní prvky tvoří čtyři radioaktivní rozpadové řady končící stabilními izotopy olova a vizmutu.

Čtyři základní rozpadové řady: [13]

- Uranová, začínající uranem ^{238}U a končící olovem ^{206}Pb
- Aktiniová, začínající aktiniem Ac a končící olovem ^{207}Pb
- Thoriová, začínající thoriem ^{232}Th a končící olovem ^{208}Pb
- Neptuniová (umělá), začínající plutoniem ^{241}Pu a končící bismutem ^{209}Bi

Nukleonová čísla členů thoriové řady odpovídají vzorci $4n$, řady neptuniové vzorci $4n+1$, řady urano-rádiové vzorci $4n+2$ a řady aktiniové vzorci $4n+3$. Při vysílání alfa záření se zmenšuje nukleonové číslo o 4, protonové číslo o 2 (alfa částicemi jsou jádra hélia, všechny alfa částice vysílané radioaktivním prvkem mají stejnou energii). Při vysílání negativního beta záření se nukleonové číslo nemění a protonové se zvětšuje o 1 (beta částicemi jsou elektrony, v jádru se při emisi beta částice mění neutron na proton za současného vyslání elektronu a elektronového neutrina, beta záření má spojité spektrum). Zatímco alfa a beta záření jsou prvotními jevy, vysílání gama záření (gama částicemi jsou fotony, gama záření má nespojitě čárové spektrum) je jevem průvodním. Obvykle vzniká při obnovování rovnováhy jádra porušené alfa nebo beta radioaktivitou. [10]

Umělou radioaktivitu získají prvky transmutací (jadernou reakcí jádra s jinými částicemi), vlivem řetězové reakce nebo působením urychlených částic. Umělá radioaktivita je tedy podmíněna přeměnou jádra, která je způsobena vnějším vlivem, například při ostřelování alfa částicemi, protony, deuterony, elektrony, ionty, zvláště účinné je ostřelování neutrony. Pak se jádra mohou dále samovolně přeměňovat, tedy vykazují radioaktivitu. Taková jádra v přírodě běžně neexistují, ale byla vytvořena uměle. Zákonitosti přeměny těchto uměle vytvořených jader jsou shodné se zákony popisujícími přeměny přirozeně radioaktivních jader. Poněvadž však ke vzniku těchto jader byl nutný vnější umělý zásah, hovoříme o umělé radioaktivitě. [13]

1.2.3 Rozpadový (přeměnový) zákon

Rozpad jádra je nevratný děj. Jakmile se jádro jednou rozpadne, nedojde k jeho „složení“. Rozpad jádra je náhodný děj. Pravděpodobnost, že u daného jádra v daném okamžiku dojde k rozpadu, nezávisí na předchozím čase, je v každém čase (kdy ještě nedošlo k rozpadu) konstantní. Nejlepší představa pro laika je taková, že jádro příslušného radioizotopu bez jakýchkoliv známek čeká, dokud se z ničeho nic nerozpadne. [15]

Rozpadový (přeměnový) zákon popisuje ubývání mateřského prvku s časem. Vychází z předpokladu, že pravděpodobnost radioaktivní přeměny jádra během zvoleného časového intervalu je pro každý mateřský prvek konstantní (bez ohledu na poloze časového intervalu na časové stupnici). [10]

Předpokládejme nejdříve jen jeden atom. Pravděpodobnost, že se rozpadne, je v libovolném čase stejná, je úměrná pouze délce tohoto intervalu. Pro nekonečně krátký časový interval dt se tedy pravděpodobnost p rozpadu konkrétního atomu určí jako: $dp = \lambda dt = -dn/n$ (znaménko minus popisuje ubývání mateřských prvků s časem)

Integrací této diferenciální rovnice lze získat rozpadový exponenciální zákon ve tvaru $n = n_0 \exp(-\lambda t) = n_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{T} \cdot t\right) = n_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$, [10]

kde λ je konstanta úměrnosti. Tato konstanta se označuje jako rozpadová konstanta a má význam konstanty charakterizující rychlost rozpadu, n_0 je počet mateřských prvků v čase $t = 0$, T je poločas rozpadu...doba, za kterou se pravděpodobně přemění polovina mateřských prvků na prvky dceřiné (tj. za čas $t = T$ bude $n = n_0/2$).

Rozpadový zákon se potvrzuje nejen pro přirozeně radioaktivní záření, ale i pro všechny druhy záření uměle radioaktivní (pozitronová, protonová, neutronová). [10]

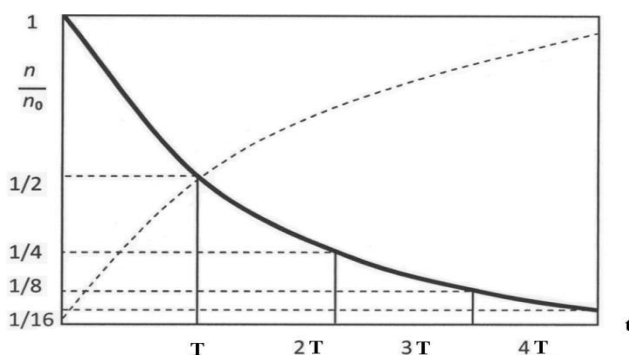
Od Becquerelova objevu radioaktivity uranu bylo v přírodě zjištěno asi 50 přirozených radionuklidů, přičemž vlastnosti nejdůležitějších z nich jsou shrnuty zde:

Radionuklid	Přeměna	Poločas přeměny	Energie vyletujících částic (v MeV)
${}^3_1\text{H}$	β^-	1,23 roku	0,018
${}^{14}_6\text{C}$	β^-	5730 let	0,155
${}^{40}_{19}\text{K}$	β^-	$1,3 \cdot 10^9$ let	1,3
${}^{210}_{84}\text{Po}$	α	138 dní	5,3
${}^{222}_{86}\text{Rn}$	α	3,8 dne	5,5
${}^{226}_{88}\text{Ra}$	α	1620 let	4,8
${}^{232}_{90}\text{Th}$	α	$1,4 \cdot 10^{10}$ let	4,0
${}^{235}_{92}\text{U}$	α	$7,1 \cdot 10^8$ let	4,4
${}^{237}_{92}\text{U}$	α	$4,5 \cdot 10^9$ let	4,2

Obr. 5. Přirozené radionuklidy. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/807-aktivita-zarice-a-rozpadovy-zakon>

Poločasy rozpadu radionuklidů mohou nabývat hodnot od zlomků sekundy až po miliardy let. Je zřejmé, že v přírodě lze pozorovat jen takové radionuklidy, které mají velmi dlouhý poločas rozpadu (srovnatelný s dobou stáří hvězd a planet) nebo které v přírodě stále vznikají.

Dlouhodobě existujícími radionuklidy v přírodě jsou např. $^{235}_{92}\text{U}$, $^{237}_{92}\text{U}$, $^{232}_{90}\text{Th}$, $^{40}_{19}\text{K}$ pod vlivem kosmického záření vznikají v atmosféře krátkodobé radionuklidy ^3_1H , $^{14}_6\text{C}$. [16]



Obr. 6: Grafické znázornění rozpadového zákona. Zdroj: ZÁŠKODNÝ, P. Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii). Bratislava: DIDAKTIS, 2005. ISBN 80-89160-25-5.

Na obrázku jsou dvě křivky. Plná křivka znázorňuje závislost a úbytek poměrného množství mateřských prvků oproti tomu stoupající křivka vysvětluje závislost a přibývání dceřiných prvků a vliv na počtu poločasů rozpadu. Při přeměnách mateřských prvků spojených s alfa zářením, dosahují alfa částice rychlosti kolem 2% rychlosti světla a jejich energie jsou v rozmezí 4 MeV a 9 MeV. [10]

1.2.4 Absorpční zákon

Absorpce (z latinského absorbere – pohltivost) záření. Absorpce ionizujícího záření je ztráta části energie záření při průchodu absorbující látkou. Při využívání ionizujícího v radiologii se jedná o průchod tkání. Zde vyvstává zásadní problém v radioterapii, kterým je dosáhnout maximální absorbované dávky v cílovém objemu. Snahou je co

největší šetření okolní zdravé tkáně. Samozřejmě nejideálnější případ by byl, aby absorbovaná dávka pronikla pouze do cílového objemu (nádoru) a měla stejnou intenzitu. Tohoto stavu však není možné dosáhnout, neboť se absorbuje záření ve tkáních stojících v cestě k nádoru a záření taktéž ubývá se vzdáleností a vznikem sekundárního záření. Těmto problémům je nutné věnovat pozornost při plánování léčby zářením. Při tvorbě ozařovacího plánu. [18]

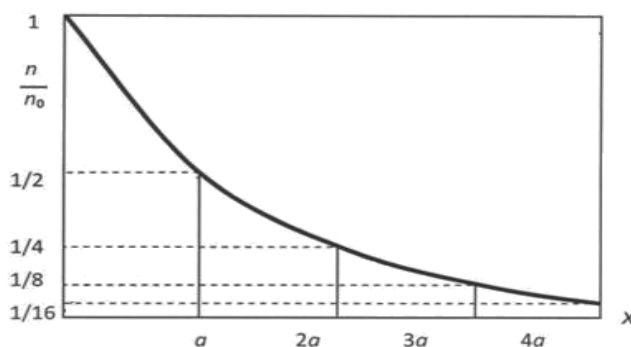
Absorpce ionizujícího záření je tedy ztráta části energie záření při průchodu absorbuující látkou. Způsob ztráty energie závisí na druhu ionizujícího záření a na fyzikálních vlastnostech absorbuující látky. Mezi ionizující záření, které může být absorbováno, patří záření alfa, záření beta a záření gama. Pro částice alfa platí, že mají vysokou specifickou lineární ionizaci (úbytek energie nabitě částice způsobený ionizací na jednotkové dráze). Protože ionizační ztráty jsou velké, dosah částic alfa je velmi malý. Záření beta má ve srovnání se zářením alfa menší hmotnost i náboj, proto je jeho specifická lineární ionizace mnohem menší. [19]

Jaderná záření interagují s prostředím - jeho částice jsou při těchto interakcích pohlcovány, přeměňovány, rozptylovány. Necht' n_0 je počet částic n_0 , který dopadne na rozhraní s danou látkou (tj. pro $x = 0$). Počet n částic pronikajících do vzdálenosti x od rozhraní s danou látkou se zmenšuje s rostoucí tloušťkou x průniku do příslušné látky.

Odvození absorpčního zákona vychází z předpokladu, že pravděpodobnost úbytku částice s původními parametry je během zvoleného intervalu tloušťky pro každou částici konstantní (bez ohledu jak na polohu intervalu vzdálenosti na stupnici tloušťky, tak i na energii částice).

Necht' μ označuje pravděpodobnost úbytku částic v jednotkovém intervalu tloušťky (vzdálenost tumoru od povrchu kůže), necht' dn označuje úbytek částic na tloušťce dx a necht' n je počet částic, které pronikly do tloušťky x (počet částic, které doletěly k nádoru) vrstvy příslušné látky. Pak lze matematicky cestou identickou cestě odvození rozpadového zákona (i když fyzikální obsah je diametrálně odlišný) získat tvar absorpčního zákona. [10]

$$n = n_0 \exp(-\mu x) = n_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{a} x\right) = n_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{a}}, \quad I = I_0 \exp(-\mu x).$$



Obr. 7. Grafické znázornění absorpčního zákona. Zdroj: ZÁŠKODNÝ, P. *Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii)*. Bratislava: DIDAKTIS, 2005. ISBN 80-89160-25-5.

V absorpčním zákoně se μ nazývá koeficientem absorpce, a je polotloušťka (polovrstva) příslušné látky jako tloušťka vrstvy, na které bude úbytek částic pravděpodobně roven polovině původního počtu částic (tj. na tloušťce $x = a$ bude $n = n_0 / 2$). [10]

Jevy spojené s průchodem jaderných záření prostředím (příslušnou látkou, např. tkání) mají úzkou vazbu na absorpční zákon. Např. při průchodu gama záření prostředím se odehrává absorpce a zeslabování gama záření prostřednictvím tří jevů – fotoelektrickým jevem, Comptonovým jevem a obráceným anihilačním jevem. Absorpční zákon pak lze pro gama záření zapsat ve tvaru $I = I_0 \exp [-(\mu_f + \mu_c + \mu_a)x]$.

Alfa částice mají jako i jiné těžké nabitě částice vysokou specifickou ionizaci (vznikají tisíce iontů na dráze 1 mm). Specifická ionizace beta částic je podstatně nižší než u alfa částic. Z tohoto důvodu se u beta částic při vzniku ztrát energie vlivem interakce s prostředím uplatňují vedle ionizace a excitace také procesy rozptylu a vzniku brzděného elektromagnetického záření. Gama částice ionizují jen nepřímo prostřednictvím sekundárních elektronů. Jejich specifická ionizace je malá a tyto částice mají podstatně vyšší pronikavost (a tím i dolety) než jiné druhy záření. [10]

1.2.5 Veličiny a jednotky jaderného záření

- Aktivita A radioaktivního zdroje (zářiče, nositele mateřských prvků)

Aktivita A zářiče je mírou radioaktivity zářiče, je vymezena jako četnost, s níž zářič uvolňuje částice jaderného záření.

$$A = - \frac{dn}{dt} = \lambda n$$

U dlouhodobých radionuklidů lze aktivitu A nahradit počtem přeměn za jednotku času, obecněji jde o součin rozpadové konstanty λ a okamžitého počtu n radioaktivních jader mateřského prvku. Jednotkou aktivity je becquerel (Bq) - aktivita 1 Bq odpovídá u dlouhodobých radionuklidů přeměně jednoho radioaktivního jádra z 1 s. [20]

- Intenzita I jaderného záření

Intenzita I je energie záření, která projde plošnou jednotkou kolmou ke směru postupu záření za 1 s. Jednotkou intenzity I je $W \cdot m^{-2}$. Měrnou ztrátu intenzity záření lze definovat jako poměr intenzity záření I v dané tloušťce prostředí pod jeho povrchem k počáteční intenzitě záření I_{\max} na povrchu prostředí. [20]

Radioaktivní zářič emituje své záření izotropně do všech směrů, do plného prostorového úhlu 4π . Se vzdáleností r od zdroje se záření „zředuje“, je distribuováno na myšlené sféře o ploše $S = 4\pi r^2$. Intenzita záření I (fluence částic-kvant/s/m²), emitovaného takovým radioaktivním zdrojem, je tedy přímo úměrná aktivitě A preparátu a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti r od zdroje (přesně to platí pro bodový zářič, přibližně za situace, kdy vzdálenost je podstatně větší než rozměry zdroje:

$$I = G \cdot A / 4\pi r^2$$

Koeficient G udává počet kvant, emitovaných radionuklidem při jedné radioaktivní přeměně. Nejčastěji se kvantifikuje pro fotony záření gama (popř. charakteristické X-záření). [23]

- Pohlčená dávka D , expozice (ozáření) X (absorbovaná dávka)

Praktický význam má jen ta část jaderného záření, která se v ozařované látce pohlcuje a způsobuje v ní nějaké změny. V praxi se často používá pro expozici X jednotka rentgen (R), kde $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C.kg}^{-1}$. Pro pohlcenou dávku se používá také jednotka „fyzikální ekvivalent rentgenu (rep - roentgen equivalent physical)“, kde $1 \text{ rep} = 0,84 \cdot 10^{-2} \text{ Gy}$. [20]

Dávka D , někdy též absorbovaná dávka, je definována jako podíl střední sdělené energie $d\bar{\epsilon}$, předané ionizujícím zářením látce v malém prostoru, a hmotnosti této látky dm vztahem $D = d\bar{\epsilon}/dm$. Jednotkou dávky je Gy (gray) $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$, dříve se používala jednotka rad, přičemž platí jednoduchý převodní vztah $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$. V názvu veličiny je třeba uvést jmenovitě, k jaké látce se dávka vztahuje. [24]

Dávkový příkon D' , někdy též dávková rychlost, je definován jako podíl přírůstku dávky dD v časovém intervalu dt a tohoto intervalu, tj. vztahem $D' = dD/dt$. Jednotkou dávkového příkonu je Gy.s^{-1} , běžněji se používá jednotka Gy.h^{-1} . [21]

- Dávkový ekvivalent H (biologický ekvivalent)

Dávkový ekvivalent H kvantifikuje biologické účinky jaderného záření. Dávkový ekvivalent H závisí nejen na pohlcené dávce D , ale také na bezrozměrných modifikujících faktorech, které charakterizují jednak druh záření z hlediska jeho biologických účinků na člověka, jednak prostorovou distribuci dávky. Jednotkou je sievert (Sv), zvláštní název pro rozměr jednotky je J.kg^{-1} . Pro biologické účinky se používá také jednotky rem (roentgen equivalent man). Jednotka „rem“ je definována jako dávka libovolného záření, které způsobí u člověka týž účinek jako 1 R rentgenového nebo gama záření. Např. pro gama a beta záření je $1 \text{ rep} = 1 \text{ rem}$, ale pro protony a rychlé neutrony je $1 \text{ rep} = 10$ až 20 rem . Odtud je vidět, že těžké částice působí při stejné pohlcené energii mnohem silněji než elektrony a fotony. [20]

Dávkový ekvivalent H v uvažovaném místě ve tkáni je dán součinem dvou veličin

$H = D \cdot Q$, kde D je dávka ve tkáni v daném bodě a Q je jakostní činitel v tomto bodě. Protože se jakostní činitel Q považuje za bezrozměrnou veličinu, je fyzikální rozměr dávky a dávkového ekvivalentu shodný. Jakostní činitel Q je modifikující činitel

závažnosti absorbované dávky podle biologické účinnosti částic ionizujícího záření. [21]

- Účinný průřez σ interakce

Účinný průřez σ interakce je obvykle definován pro volné atomy prostředí (tj. pro atomy, které spolu interagují při srážkách, jen jako tuhé koule) vztahem

$$\sigma = \pi r_j^2,$$

kde r_j je poloměr jádra atomu prostředí a veličina πr_j^2 vyjadřuje geometrický průřez jádra. Pro přitahující se částice prostředí je $\sigma > \pi r_j^2$, pro odpuzující se částice prostředí je $\sigma < \pi r_j^2$. Jednotkou účinného průřezu je m^2 v soustavě SI, praktické použití má jednotka barn (bn) definovaná $1 \text{ bn} = 10^{-28} \text{ m}^2$, která je řádově velikosti geometrického průřezu jádra. Účinný průřez σ , který je schopen vyjádřit pravděpodobnost, že ostřelující částice jaderného záření bude jistým způsobem interagovat s jádrem terčové částice, má úzkou vazbu na koeficient absorpce μ . Tato vazba souvisí s pravděpodobností obsaženou v definici koeficientu absorpce μ . Obvykle je zapotřebí tuto pravděpodobnost rozčlenit podle možných druhů ztráty energie při interakci jaderného záření s prostředím. [10]

- Dolet D látkové částice jaderného záření

Dolet D je délka dráhy, na níž látková částice ztratí při interakci s prostředím (většinou procesem ionizace atomů prostředí) počáteční kinetickou energii a zastaví se. Např. ztráta kinetické energie $-dT$, kterou alfa částice ztratila ionizací na dráze dx , je při vztahení na jednotkovou dráhu v daném prostředí funkcí $f(T)$ jen okamžité kinetické energie T (křivka vyjadřující závislost $-dT/dx = f(T)$ prostřednictvím závislosti měrné ztráty energie $-dT/dx$ na uražené dráze je Braggova křivka s výrazným Braggovým maximem a s poklesem na nulu ve vzdálenosti, která je doletem D alfa částice). Teoreticky byl nejobecněji tvar funkce $f(T)$ odvozen Blochem. Bude-li počáteční kinetická energie alfa částice označena T_0 , pak lze dolet D alfa částice vypočítat pomocí integrálu

$$D = \int_0^D dx = \int_0^{T_\alpha} \frac{dT}{f(T)}.$$

Dolet D alfa částice ve vzduchu jsou řádově centimetry, ve tkáni mikrometry. Dolety D jsou v tkáních u běžných beta záření řádově milimetry. [10]

1.2.6 Detekce a dozimetrie jaderného záření

Dozimetrie je oblast fyziky zabývající se vlastnostmi ionizujícího záření, veličinami charakterizujícími procesy vzniku a interakce ionizujícího záření s látkou a metodami měření těchto veličin.

V biologických a lékařských vědách se soustředí na interakci ionizujícího záření s živou hmotou a jeho účinky na organismy a uplatňuje se v oboru radiologie (radiodiagnostika a radioterapie).

V technických vědách, lékařství i vojenství se uplatňuje v oblasti ochrany před zářením – zabývá se monitorováním a usměřováním rizik pro obyvatelstvo i pracovníky pracující se zdroji záření. [24]

Radiační ochrana se snaží minimalizovat rizika spojená s pobytem člověka na místech nějakým způsobem zasaženým ionizujícím zářením. Jejím úkolem je nalezení a popis zdroje záření, ocenění případné zdravotní újmy a vytvoření pravidel pro pobyt v monitorovaném prostoru nebo pro práci s příslušným zdrojem ionizujícího záření. [24]

Ochrana před zářením je možná v podstatě třemi způsoby:

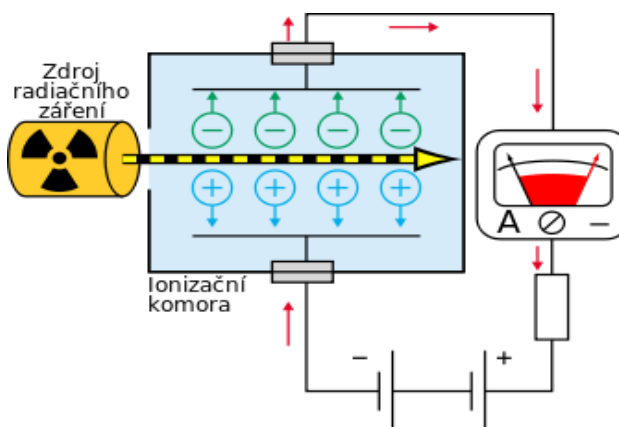
1. vzdáleností;
2. omezením doby ozařování;
3. stíněním.

Záření ubývá se vzdáleností od zdroje, a čím kratší dobu jsme záření vystaveni, tím menší dávkový ekvivalent obdržíme. Prostory, kde je nebezpečí záření, musí být označeny varovnou značkou. Osoby zde se pohybující musí být vybaveny osobními dozimetry, které měří získanou dávku, platí zde zákaz kouření a požívání jídla.

V celosvětovém měřítku je bezpečnost jaderné energetiky a využívání radionuklidů sledována a kontrolována na základě mezinárodních dohod, a to Mezinárodní organizací pro atomovou energii ve Vídni, která je jednou z odborných organizací přidružených k OSN. [16]

Ionizační komůrky, plynové počítače ionizujících částic

Ionizační komora je elektrodový systém sloužící k detekci ionizujícího záření, který může být izolovaný od prostředí, nebo volně umístěný ve vzduchu.



Obr. č. 8. Schéma ionizační komory, dostupné z:

http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Chambre_d%27ionisation_cs.svg

Ionizační komůrky jsou v podstatě plynové kondenzátory, které jsou vystaveny ionizačním účinkům záření. Je-li na desky kondenzátoru vloženo napětí, jsou ionty vzniklé ionizací uváděny elektrickým polem do pohybu, mezi deskami kondenzátoru protéká ionizační proud. Ionizační komůrka se vybíjí a pomocí poklesu napětí lze měřit intenzitu záření a srovnávat aktivitu zářičů. [20]

K měření intenzity jaderného záření je nejvhodnější ionizační komůrka např. v režimu oblasti nasyceného proudu (např. nízkotlaké statické komůrky).

Při dostatečně velkém vloženém napětí se objeví ionizace nárazem, vyvolaná ionty vzniklémi při ionizaci plynové náplně komůrky primárními částicemi jaderných záření. Pak začíná ionizační komůrka po vhodném uzpůsobení plnit funkci počítaců primárních částic. [10,20]

Počítače částic jaderného záření jsou schopny zjistit počet primárních částic, které v jednotce času ionizaci vyvolaly - a to je možnost ke stanovení absolutní hodnoty aktivity radioaktivního zdroje přímo v jednotkách aktivity.

Závislost ionizačního proudu I na vloženém napětí U odhaluje několik oblastí vyplývajících z průběhu závislosti. [10]

- **Oblast Ohmova zákona I** platí pro malá napětí $U < U_1$ a vyznačuje se úměrností ionizačního proudu s napětím, s rostoucím napětím roste počet přitažených iontů. Stoupání proudu se zpomaluje, při napětí U_2 se proud ustálí.

- **Oblast nasyceného proudu II** je pro napětí $U_2 < U < U_3$ charakterizována přibližně stálou hodnotou ionizačního proudu, všechny ionty vzniklé za 1s v celém objemu plynové náplně komůrky jsou přitaženy, rychlosti iontů jsou již velké proti rychlosti tepelného neuspořádaného pohybu.

- **Oblast proporcionalnosti III** je spojena s dosažením hodnoty napětí U_3 , při kterém ionty vzniklé průchodem jaderného záření jsou urychleny do té míry, že jsou samy schopny nárazy na neutrální molekuly vytvářet další ionty - objevuje se ionizace nárazem. Každý urychlený iont vytvoří až do napětí U_4 stejný počet nových iontů, který nezávisí na napětí kondenzátoru ionizační komůrky. Proporcionalita poukazuje na úměrnost mezi počtem iontů, které dopadly na desky kondenzátoru, a energií primárních částic.

- **Geigerova oblast IV** je spojena s dosažením hodnoty napětí U_4 a končí napětím U_5 , při němž již vznikne samostatný výboj. Částice jaderného záření plní prostřednictvím původní vyvolané ionizace již jen funkci spouštěče lavinovité ionizace. Ionizační proud již není proporcionalní počtu iontů vzniklých přímým působením záření a tudíž ani intenzitě záření. [20]

Geiger-Müllerův počítač (GM počítač) je detektor ionizujícího záření (obvykle β a γ , ale při vhodném uspořádání i částice α). Zařízení se skládá z trubice naplněné

inertním plynem (Geigerovy trubice). Na jednom konci je v ose trubice izolovaně upevněna drátová elektroda spojená se zdrojem vysokého napětí (500 V). Na druhém konci trubice je vstupní okénko. Trubice je obvykle vyplněna héliem, neonem nebo argonem s příměsí např. par metylalkoholu či bromu, sloužících jeho zhášedlo. Zhášedlo ukončuje vzniklý výboj a zabraňuje tak vzniku stálého proudu, který by znemožnil další měření a mohl by poškodit elektrody nebo plynovou náplň. [25]

Další typy počítačů částic jaderných záření

Jiskrový počítač je detektor ionizujícího záření. Obsahuje dvě elektrody s vysokým rozdílem napětí. Při průletu ionizující částice přeskočí jiskra, kterou lze fotografovat a na výstupu jiskrového počítače vznikne napěťový impuls. [26]

Krystalový počítač je detektor ionizujících částic, které při průchodu pevným dielektrikem (obvykle dokonalý krystal CdS, nebo AgCl) vytvářejí volné nosiče náboje. Ty jsou přitahovány k elektrickým kontaktům s rozdílným potenciálem, které jsou umístěny na povrchu krystalového počítače. [26]

Scintilační počítače jsou přístroje zaznamenávající ionizující částice, podstatnou část tvoří scintilátor, který vysílá při průchodu částic záblesky světelného záření, ty jsou zesilovány fotonásobičem a registrovány. [20,26]

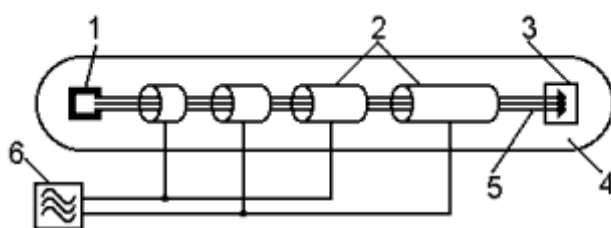
Čerenkovův počítač detekuje částice a měří jejich energii (rychlosti) založené na Čerenkovově záření. Toto optické záření vzniká průchodem nabitě částice izolantem tehdy, jestliže je rychlost částice větší než rychlost světla v izolantu. Nejde o druh brzděného elektromagnetického záření, neboť Čerenkovovo záření vzniká i při rovnoměrném pohybu nabitě částice. [20,26]

1.2.7 Urychlování nabitých částic jaderného záření

K nejstarším prostředkům pro sledování trajektorie částic patří mlžná komora. Je to válcová nádoba, v níž se pomocí expanze nebo difúze uvede do nasyceného stavu pára vhodné kapaliny (voda, ethanol,...). Jestliže tímto prostředím prolétne částice,

ionizuje molekuly páry a ionty se stávají kondenzačními jádry. Na nich se vytvářejí mikroskopické kapičky, které vyznačují trajektorii částice. Nověji se konstruují bublinkové komory, které pracují oproti mlžným komorám na opačném principu. V nich se kapalina (např. kapalný vodík) uvádí do přehřátého stavu. Trajektorii částice v této komoře vyznačují bublinky páry, které vznikají nepatrným snížením tlaku při průchodu částice. Jiskrová komora spojuje princip jiskrového počítače plněného neonem a horoskopické komory tvořené baterií jiskrových počítačů. Uzavírací doba jiskrové komory je tisíckrát kratší než u komory bublinkové. [20,27,28]

Urychlovač částic, je technické zařízení používané pro dodání kinetické energie nabitým částicím. Některé částice (ionty, elektrony či pozitrony) jsou v urychlovači jednou nebo opakovaně urychleny rozdílem potenciálů elektrického pole. Urychlovače slouží k výzkumu elementárních částic, ale i v technické praxi. Existují dva základní typy urychlovačů: lineární a kruhový. Urychlovač částic způsobuje čelní srážky mezi dvěma svazky částic stejného druhu, buď protony, nebo různými typy iontů, především iontů olova. Při srážce se tyto částice rozptýlí, a když mají dostatečnou energii vznikají přitom další částice (produkty srážky). Lineární urychlovače urychlují částice (elektrony i ionty) přímočaře v evakuované urychlovací trubici a lze je dělit na elektrostatické a vysokofrekvenční s elektrodami nebo nosnou elektromagnetickou vlnou. [10,15]



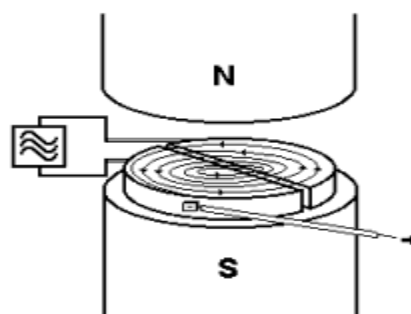
Obr. 5: Schéma lineárního urychlovače (1 - zdroj částic, 2 - elektrody, 3 - terč, 4 - vakuová komora, 5 - trajektorie částic, 6 - generátor vysokofrekvenčního napětí)

Obr. 9. Schéma lineárního urychlovače. Zdroj. 28, Přehled středoškolské fyziky, E. SVOBODA A KOL., 1996 ISBN : 978-80-7196-438-4.

Podle tvaru trajektorie, po níž se urychlená částice pohybuje, rozlišujeme urychlovače lineární a kruhové. Lineární urychlovač ne obrázku výše má podobu

dlouhé trubice s řadou válcových elektrod připojených ke zdroji napětí o vysoké frekvenci. Ta je volena tak, aby se částice ve štěrbinách mezi elektrodami postupně urychlovaly. Největší urychlovače tohoto typu mohou mít délku až 3 km a částice v nich získají energii až 20 GeV. [27,28]

Nejznámějším typem kruhového urychlovače je cyklotron, který zkonstruoval již v roce 1931 americký fyzik E. O. LAWRENCE. Cyklotron se skládá ze dvou kovových komor ve tvaru písmena „D“, zvaných duanty (obr. 6). Duanty jsou připojeny ke zdroji vysokofrekvenčního střídavého napětí, takže v mezeře mezi nimi vzniká proměnné elektrické pole. Celé zařízení je uloženo v nádobě s vysokým vakuem a je umístěno v homogenním magnetickém poli. V mezeře se nachází zdroj kladně nabitých částic (např. p, H, He), z něhož částice vyletují do elektrického pole mezi duanty. Částice jsou polem urychlovány a pronikají do jednoho z duantů. Poněvadž na částice působí magnetické pole, pohybují se po kružnicových trajektoriích a znovu dospívají k mezeře. Zde jsou elektrickým polem znovu urychlovány a tento děj se několikrát opakuje. Poněvadž roste rychlost částic, zvětšuje se také poloměr kružnicové trajektorie, až je působením záporně nabitě desky částice odchýlena a vystupuje z cyklotronu směrem k terči. [27,28]



Obr. 6: Schéma cyklotronu

Obr 10. Schéma cyklotronu. Zdroj. Přehled středoškolské fyziky, E. SVOBODA A KOL., 1996 ISBN: 978-80-7196-438-4

Cyklotron patří k urychlovačům rezonančního typu, poněvadž frekvence střídavého napětí mezi duanty musí být synchronizována s periodou pohybu částice v magnetickém poli. V současných rezonančních kruhových urychlovačích (synchrofazotronech) je třeba přihlížet k relativistickým změnám hmotnosti

urychlovaných částic. Speciálně upraveným elektrickým a magnetickým polem lze částice urychlovat až na energie řádově 10 GeV, přičemž trajektorie částic má konstantní poloměr. Experimenty s takto urychlenými částicemi mají základní význam pro výzkum elementárních částic. [27,28]

Zajímavým výsledkem získaným díky urychlovači částic je experimentální ověření platnosti Einsteinova relativistického vztahu pro dilataci času. Tento vztah říká, že čím rychleji se objekt vzhledem k pozorovateli pohybuje, tím pomaleji na něm vzhledem k pozorovateli plyne čas (a naopak – to pak znamená, že pro pohybující se hmotný objekt, tedy pro každý hmotný objekt, se od každého okamžiku odvíjí jiná realita oproti jiným objektům, které vůči němu nejsou v klidu, neustále tedy vzniká obrovské, ale konečné množství paralelních prostorů. Dokonce to splňuje definici dimenze, ovšem těžko tato může být jednorozměrná). Výsledek byl získán měřením závislosti doby života mezonů π^+ na jejich rychlosti. [27,28]

Mezony π^+ vznikají např. v urychlovačích ostřelováním hliníkového terčiku rychle letícími protony. Jsou ale nestabilní, střední doba života částice měřená v klidové soustavě (v laboratoři, vzhledem k níž by se mezon nepohyboval) je $\tau_0=2,6 \cdot 10^{-8}$ s. Ze zákonů klasické fyziky vyplývá, že kdyby se mezon pohyboval vzhledem k laboratoři rychlostí $v=0,99c$, urazil by od okamžiku vzniku do okamžiku rozpadu střední dráhu $v\tau_0=0,99 \cdot c \cdot 2,6 \cdot 10^{-8}=7,72$ m. Experimenty v laboratoři však ukázaly, že střední dráhy, které mezony π^+ za těchto podmínek do okamžiku svého rozpadu urazí, jsou ve skutečnosti mnohem větší. [27,28]

Chyba předcházejícího výpočtu spočívá v tom, že při rychlostech blízkých rychlosti světla není již možno použít zákony klasické fyziky. Pozorovatel, který by se pohyboval společně s mezonem, by zjistil, že střední doba jeho rozpadu je opět $2,6 \cdot 10^{-8}$ s, neboť podle principu relativity se v libovolné klidové soustavě musí mezon π^+ rozpadnout za stejnou dobu. Z hlediska pozorovatele v laboratoři na Zemi, vzhledem k němuž se mezon pohybuje rychlostí $0,99c$, je střední doba života mezonu určena vztahem $\tau=\tau_0/(1-v^2/c^2)^{1/2}=2,6 \cdot 10^{-8}/(1-0,992)^{1/2}=18,43 \cdot 10^{-8}$ s. Tato doba je větší než $\tau_0=2,6 \cdot 10^{-8}$ s, proto mezon v laboratoři urazí větší střední dráhu

$v\tau=0,99.c.18,43.10^{-8}=54,7$ m. Tato dráha se velmi shoduje s experimentálně pozorovanou dráhou. [27,28]

1.2.8 Jaderné reakce (transmutace prvků)

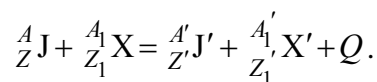
Vedle samovolné přeměny přirozeně radioaktivních prvků lze přivodit přeměnu prvků i uměle - přirozené i umělé přeměně prvku se říká jaderná reakce nebo také transmutace prvku.

Zákony zachování při jaderných reakcích

Nechť m a m' jsou hmotnosti za pohybu látkových částic (prvků) vstupujících a vystupujících z jaderné reakce, necht' ν a ν' jsou frekvence polní částice (fotonu) vstupující a vystupující z jaderné reakce. Pak lze zákony zachování energie a hmotnosti napsat ve tvarech

$$\sum mc^2 + h\nu = \sum m'c^2 + h\nu', \quad \sum m + h\nu/c^2 = \sum m' + h\nu'/c^2.$$

Nechť A, Z, A_1, Z_1 a A', Z', A_1', Z_1' jsou protonová a nukleonová čísla prvků a dalších mikroobjektů (které lze charakterizovat protonovými a nukleonovými čísly - jiné mikroobjekty nebudou pro zjednodušení zápisu uvažovány) vstupujících a vystupujících z jaderné reakce, necht' Q je např. přebytek energie, který se reakcí uvolní. Pak lze jadernou reakci zapsat ve tvaru



Z tohoto zápisu lze snadno vyvodit zjednodušené zápisy zákonů zachování nukleonového čísla (hmotnosti) a protonového čísla (náboje) ve tvaru

$$A + A_1 = A' + A_1', \quad Z + Z_1 = Z' + Z_1'.$$

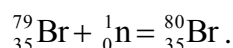
Mezi další zákony zachování při jaderných reakcích patří např. zákon zachování hybnosti nebo zákon zachování spinu. [10]

Přehled typů jaderných reakcí

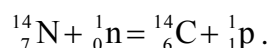
Jaderné reakce vyvolané přirozeným radioaktivním zářením. Mezi historicky nejvýznamnější reakce tohoto typu patří Rutherfordův objev protonu (ostřelování dusíku alfa částicemi s produkcí kyslíku a protonu), Chadwickův objev neutronu (ostřelování berylia alfa částicemi s produkcí uhlíku a neutronu), objev umělé radioaktivity Joliotovými (ostřelování hliníku alfa částicemi se vznikem radioaktivního fosforu a neutronu, radioaktivní fosfor se transmutuje s poločasem rozpadu 3 min 15 s na křemík za vysílání pozitivního beta záření). [10]

Transmutace urychlenými částicemi. Mezi historicky významnou transmutací (r. 1941) patří ostřelování lithia urychlenými protony se vznikem dvou alfa částic. Kromě ostřelování urychlenými protony je produktivní také ostřelování např. urychlenými deuterony nebo jádru helia. [10,20]

Transmutace prvků neutrony. Neutrony jsou velmi užitečné střely pro transmutaci prvků. Zdrojem ostřelujících neutronů je řada transmutací, které uvolňují při jaderných reakcích rychlé neutrony se značnými energiemi. Ostřelováním neutrony lze změnit téměř všechny známé prvky na jejich radioizotopy. Kromě pohlcení neutronu bez emise částice je někdy vniknutí neutronu do jádra provázeno emisí alfa částice nebo protonu. Jako příklady těchto reakcí lze uvést:



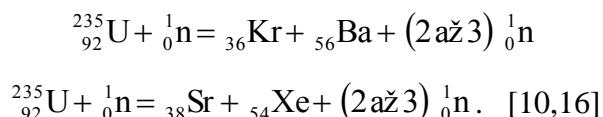
Vzniká radioaktivní bróm v podobě dvou izomerů s poločasy rozpadu 4,4 hod. a 18 min.



Při této reakci vzniká radioaktivní uhlík ${}_{6}^{14}\text{C}$, který vysílá negativní beta záření s poločasem rozpadu řádu 10^4 let. Vzhledem ke značnému poločasu rozpadu je tento radioizotop vynikajícím časovým indikátorem v biologii. [10]

Štěpení jader. Pokusy prokázaly, že neutron zpomalený průchodem vrstvou vody nebo parafínu může rozštěpit těžké jádro uranu na dvě přibližně stejně těžká jádra (štěpné trosky). Některé těžké radionuklidy pohlcují pomalé neutrony a rozpadají se na

dvě téměř stejně těžké části za současné produkce 2 až 3 pomalých neutronů. Příkladem štěpné reakce je štěpení izotopu uranu 235:



Štěpná řetězová reakce. Řízené uvolňování jaderné energie vychází z použití přírodního uranu, který je směsí tří izotopů s nukleonovými čísly 234, 235 a 238 a s procentuálním zastoupením 0,006 %, 0,7 % a 99,3 %. Při určitém kritickém množství uranu se uplatní štěpná reakce u izotopu uranu 235, jejímž výtěžkem jsou nejen 2 až 3 pomalé neutrony, udržující štěpnou reakci v řetězovém chodu, ale také značný energetický výtěžek. Např. v jaderných elektrárnách se uvolněná jaderná energie přeměňuje na energii elektrickou. Radioaktivním odpadem při štěpné řetězové reakci je výsledek transmutace izotopu uranu 238 na neptunium, které se s poločasem rozpadu 23 min transmutuje na plutonium. Plutonium má však poločas rozpadu kolem 24 000 let. [10]

1.3 Použité statistické metody

Statistickou činnost provádí člověk od pradávna, i když se původně pro tuto činnost název „statistika“ ještě nepoužíval. První historické zmínky jsou zřejmě záznamy o sčítání obyvatelstva a majetku starých Babylóňanů, které pocházejí z období před rokem 3 800 př. n. l. Zmínky o sčítání lidu najdeme i ve Starém zákoně.

V této práci bylo využito deskriptivní a matematické statistiky. Statistika je věda zkoumající skutečná data pomocí teorie pravděpodobnosti, prostřednictvím které jsou data popisována. [31]

Na začátku statistického šetření bylo využito metod deskriptivní statistiky. Prvním krokem této statistiky je formulace statistického šetření, tj. správné vytyčení

statistických pojmů. Základními statistickými pojmy je hromadný náhodný jev, statistická jednotka, statistický znak, hodnoty statistického znaku, základní statistický soubor a jeho rozsah, náhodný výběr, výběrový statistický soubor a jeho rozsah.

Dalším krokem statistického šetření je škálování – vytvoření vhodných prvků škály. Procesem měření jsou k těmto prvkům přiřazeny počty statistických jednotek. Výstupem měření je zápis s počty statistických jednotek v rámci jednotlivých prvků škály.

Výslednou metodou deskriptivní statistiky je elementární statistické zpracování, které spočívá v uspořádání výsledků měření vytvořením tabulky, grafickém vyjádření (formou polygonu) a parametrizování vhodnými empirickými parametry.

Druhou částí statistického šetření je aplikace metod matematické statistiky. Jednou z užitých metod matematické statistiky je neparametrické testování hypotéz.

Neparametrickým testováním se zjišťuje, zda-li lze nahradit empirické rozdělení rozdělením teoretickým. V práci je využit Pearsonův χ^2 -test.

K otestování předpokládaných hypotéz lze také používat parametrické testování.

Jednovýběrové parametrické testování hypotéz vypovídá o tom, zda mohl být výběrový statistický soubor vybrán ze základního statistického souboru. [32]

2 Hypotézy a metodiky výzkumu

2.1 Hypotézy a cíle práce

Předpokládané hypotézy:

1. Edukační text pro radiologické asistenty lze vytvořit aplikací kurikulárního procesu.
2. Znalosti studentů získané prostřednictvím vypracovaného edukačního textu budou mít rozdělení blízké normálnímu rozdělení.

Cíle práce:

1. Výběr teorie přenosu poznatků na úroveň uvedených studijního oboru radiologický asistent.
2. Vytvoření edukačního textu cestou, která bude naplňovat vybranou teorii.
3. Experimentální ověření edukačního textu dotazníkovým testem znalostí respondentů.
4. Aplikace vybraných statistických metod.

2.2 Metodika výzkumu

2.2.1 Metody deskriptivní statistiky

1. Analýza současného vědeckého systému s cílem aplikovat kurikulární proces.
2. Transformace zkoumaného vědeckého systému na sdělitelný vědecký systém.
3. Vytvoření vlastního edukačního textu na základě analýzy vědeckého systému a možností adresátů edukace.
4. Ověření edukační funkce vytvořeného edukačního textu experimentální výukou studentů studijního oboru „Radiologický asistent“ a oborů příbuzných.
5. Vytvoření testu pro ověření získaných znalostí studentů a následné statistické

vyhodnocení těchto testů.

Během analýzy studijních materiálů nebyl nalezen uspokojivý edukační text v českém jazyce pro studenty oboru „Radiologický asistent“ nebo oborů obdobných. Na základě výběru informací z analyzovaných podkladů bude proto vytvořen text vlastní. Během procesu edukace bude text přepracován na přiměřenou srozumitelnou úroveň adresátům edukace a z hlediska transformace konceptuálního kurikula na kurikulum zamýšlené a kurikulum projektové.

Na základě vytvořeného edukačního textu proběhne experimentální výuka, která umožní transformaci projektového kurikula (edukačního textu) a implementovaného kurikula-1 (příprava na výuku) na implementované kurikulum-2 (znalosti studentů po absolvování experimentální výuky). Edukační text by měl být přiměřený a odpovídat možnostem adresátů edukace. Příprava na experimentální výuku by měla vedle tištěné podoby edukačního textu obsahovat i PowerPointovou prezentaci a také přípravu na diskusi s adresáty edukace.

Adresáti experimentální výuky by měli být studenti 1. ročníku Jihočeské university studijního oboru „Radiologický asistent“. Pro dostatečný počet respondentů ke statistickému zpracování a tedy i k co objektivnějšímu závěru statistického šetření budou osloveni i studenti ostatních univerzit v České republice umožňujících studium oboru Radiologický asistent, jak kombinované tak presenční formy studia

Lékařská fakulta Ostravské univerzity v Ostravě,

Lékařská fakulta Masarykovy univerzity v Brně,

Fakulta zdravotnických studií Západočeské univerzity v Plzni,

Fakulta biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Kladně,

Fakulta zdravotnických studií univerzity v Pardubicích,

Fakulta zdravotnických věd univerzity Palackého v Olomouci,

Vysoká škola zdravotnická, o.p.s. v Praze.

Osloveným studentům jmenovaných univerzit a studentům vyšších ročníků Jihočeské univerzity studijního oboru „Radiologický asistent“ bude spolu s dotazníkovým testem zaslán taktéž vytvořený edukační text elektronickou formou.

Adresátům edukace bude předložen test znalostí, který bude odrážet strukturu zamýšleného kurikula. Dotazníkový test bude obsahovat 24 otázek a bude vycházet pouze z vytvořeného edukačního textu. U každé otázky tři možné alternativní odpovědi s pouze jednou správnou možností. Edukační test by měl být položen všem respondentům ve vytištěné, nebo elektronické podobě. Položení testu a jeho následné statistické vyhodnocení by mělo zjistit úroveň znalostí dosaženou experimentální výukou u adresátů edukace. Testování znalostí bude probíhat ryze anonymně.

Ověření přiměřenosti edukačního textu a dotazníkového testu bude uskutečněno aplikací statistických metod. Statistické metody použité ve výzkumné části této bakalářské práce budou:

- a) Formulace statistického šetření**
- b) Škálování**
- c) Měření**
- d) Elementární statistické zpracování – tabulka, grafy, empirické parametry**

Statistické vyhodnocení testů proběhne aplikací vhodných statistických metod popsaných ve zdrojích [32,33,34]

a) Formulace statistického šetření

K formulaci statistického šetření bude v práci zapotřebí vymezit 7 základních pojmů:

- Hromadný náhodný jev HNJ
- Statistická jednotka SJ
- Statistický znak SZ
- Hodnoty statistického znaku HSZ
- Základní statistický soubor a jeho rozsah ZSS
- Náhodný výběr NV
- Výběrový statistický soubor a jeho rozsah VSS

Hromadný náhodný jev (HNJ) lze definovat jako zkoumanou společnou „vlastnost“ všech statistických jednotek (SJ) statistického souboru (ZSS následně VSS), kterou nelze s jistotou předpovědět. Hromadným náhodným jevem může být například zkoumání znalostí adresátů edukace formou testu.

Statistická jednotka (SJ) je prvkem statistického souboru. Statistická jednotka má určité vlastnosti stejné jako zbytek zkoumané množiny. Statistickou jednotkou je například jeden student podrobující se testu.

Statistický znak (SZ) je vlastnost odlišující konkrétní statistickou jednotku od ostatních. Například rozdílná úroveň znalostí adresátů edukace.

Hodnota statistického znaku (HSZ) je způsob popisu sledovaného statistického znaku. V této bakalářské práci budou dosažené znalosti studentů kvantifikovány počtem dosažených bodů prostřednictvím aplikovaného testu.

Základní statistický soubor (ZSS) je počet všech statistických jednotek. Příkladem ZSS je např. 180 000 studentů, kteří se účastnili písemných testů státní maturity na jaře roku 2015.

Náhodný výběr (NV) je proces zredukování počtu zkoumaných statistických jednotek. Může být realizován například losem, generátorem náhodných čísel aj.

Výběrový statistický soubor (VSS) je soubor všech statistických jednotek, které byly vybrány ze základního statistického souboru formou náhodného výběru. Příkladem může být náhodný výběr padesáti studentů z celkového počtu. Výsledky zkoumání výběrového statistického souboru jsou brány jako výsledky celého základního statistického souboru. Výběrový statistický soubor VSS je jednorozměrným, je-li u něj zkoumán jen jeden statistický znak, vícerozměrným, je-li zkoumáno více statistických znaků. [32,33,34]

b) Škálování

Škálování je rozdělení hodnot statistického znaku do skupin. Podle povahy statistického znaku rozlišujeme 4 typy škál.

Nominální škála – je klasifikací do kategorií. Jednotlivé kategorie odpovídají prvkům škály (např. pohlaví - muž, žena, nebo zaměstnání atd.).

Ordinální škála - umožňuje stanovit pořadí statistických jednotek (např. dosažený stupeň vzdělání). Neumožňuje však stanovit vzdálenosti mezi dvěma sousedními statistickými jednotkami uspořádanými podle této škály.

Kvantitativně metrická škála – již umožňuje stanovit vzdálenost mezi dvěma sousedními statistickými jednotkami, je nezbytné definovat jednotku škály (bodové hodnocení výsledků testů). Umožňuje stanovení vzdálenosti dvou sousedních statistických jednotek. Počátek škály lze volit dobrovolně (nemusí mít povinně nulovou hodnotu). Kvantitativně metrická škála bude použita v této bakalářské práci.

Absolutní metrická škála- je kvantitativně metrická škála s počátkem škály v nule (počet chyb při testování, teplota ve stupních Kelvina atd.). [32,33,34]

c) Měření

Měřením je proces, kdy přiřazujeme ke každé statistické jednotce výběrového statistického souboru jeden z prvků škály. Výsledkem měření je zjištění, kolikrát byl prvek škály x_i naměřen (n_i krát). Součet všech absolutních četností (n_i) by měl být roven celkovému počtu všech statistických jednotek (n) výběrového statistického souboru (VSS). Výsledky měření je možné hodnotit pomocí pravděpodobnosti. Pravděpodobnost, že při měření nastanou výsledky x_i je vyjádřena relativní četností (n_i/n). Součet všech relativních četností musí být roven 1. Pravděpodobnost, že nastane výsledek menší nebo rovný x_i se nazývá kumulativní četnost ($\sum n_i/n$). [32,33,34]

d) Elementární statistické zpracování – tabulka, grafy, empirické parametry

Výsledky měření se uspořádají do škál, zapíší do tabulky a následně vyjádří graficky a empirickými parametry.

Tabulka představuje formu uspořádání výsledků měření. Tabulka bude obsahovat 8 sloupců, první čtyři jsou potřebné pro zpřehlednění výsledků měření, druhé čtyři pro výpočet empirických parametrů.

První čtyři sloupce obsahují:

- sloupec označený x_i - prvky škály,
- sloupec označený n_i - absolutní četnosti prvků škály,
- sloupec označený n_i / n - relativní četnosti prvků škály,
- sloupec označený $\sum (n_i / n)$ - kumulativní četnosti.

Další čtyři sloupce obsahují:

- sloupec obsahuje součiny $x_i \cdot n_i$,
- sloupec obsahuje součiny $x_i^2 \cdot n_i$,
- sloupec obsahuje součiny $x_i^3 \cdot n_i$,
- sloupec obsahuje součiny $x_i^4 \cdot n_i$

Grafické znázornění četností používá souřadnicový systém v rovině x, y . Na vodorovnou osu x jsou nanášeny prvky škály x_i , na svislou osu y hodnoty příslušných četností. Vzniklá lomená čára po spojení vynesných bodů je nazývána polygonem četnosti, pro kterou byl sestrojen.

Empirické parametry popisují, charakterizují, statistický soubor. Empirické parametry lze dělit podle toho, jakou vlastnost zkoumaného statistického souboru (zkoumaného statistického znaku) zobrazují:

➤ **Parametr polohy**

vážený aritmetický průměr, obecný moment prvního řádu – vystihuje polohu empirického rozdělení četností – umístění na ose x souřadnicového systému.

$$O_1(x) = \frac{1}{n} \sum n_i \cdot x_i$$

➤ **Parametr proměnlivosti** (variability),

centrální moment druhého řádu, empirický rozptyl. Odmocnina je nazývána směrodatná odchylka – má výpovědní hodnotu aritmetického průměru.

$$C_2(x) = \frac{1}{n} \sum n_i (x_i - \bar{x})^2$$

Směrodatná odchylka $S_x = \sqrt{C_2}$

➤ **Parametr šikmosti,**

koeficient šikmosti, normovaný moment třetího řádu, vypovídá o míře četnosti (koncentraci) prvků škály ležících napravo nebo nalevo od aritmetického průměru.

$$N_3 = \frac{C_3}{C_2 \sqrt{C_2}}$$

Kde C_3 je centrálním momentem třetího řádu

$$C_3(x) = \frac{1}{n} \sum n_i (x_i - \bar{x})^3$$

➤ **Parametr špičatosti,**

koeficient špičatosti, normovaný moment čtvrtého řádu. Vyjadřuje míru špičatosti rozdělení prvků škály.

$$N_4 = \frac{C_4}{[C_2]^2}$$

Kde C_4 je centrálním momentem čtvrtého řádu

$$C_4(x) = \frac{1}{n} \sum n_i (x_i - \bar{x})^4$$

[32,33,34]

2.2.2 Metody matematické statistiky

a) neparametrické testování hypotéz

Význam neparametrického testování hypotéz spočívá v nahrazení empirického rozdělení rozdělením teoretickým (např. normálním rozdělením). K neparametrickému testování se používá nulových a alternativních hypotéz na předem dané hladině významnosti α . Nejčastějšími hladinami významnosti jsou hodnoty $\alpha = 0,05$ (jde o 95% interval spolehlivosti) (hladina pravděpodobné chyby) a $\alpha = 0,01$. Výsledkem je přijetí nebo zamítnutí nulové hypotézy H_0 a přijetí nebo zamítnutí alternativní hypotézy.

K ověření parametrických i neparametrických hypotéz bude použit χ^2 -test – dobré shody. Pro který je potřebné, aby u každého prvku škály bylo alespoň 5 výsledků testů. Má-li některý prvek škály absolutní četnost <5 , může pak dojít ke sloučení se sousedním intervalem.

Bude-li tato podmínka splněna, bude nutné určit experimentální hodnotu statistického kritéria, teoretickou hodnotu kritéria, hodnotu kritického oboru W testového kritéria a následně posoudit, zda je či není experimentální hodnota kritéria prvkem kritického oboru. Je-li prvkem, je přijata alternativní hypotéza, empirické rozdělení pak nelze nahradit rozdělením teoretickým a naopak.

Výpočet χ^2 testu lze provést dle vzorce

$$\chi^2_{\text{exp}} = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \wedge p_i = \Phi u_i - \Phi u_{i-1} \wedge u_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

kde n je rozsah výběrového statistického souboru VSS, p_i je spojena s rozdílem hodnot distribuční funkce $F(x)$ normálního rozdělení, x_i = horní mez intervalu, $\mu = O_1$, $\sigma = S_x$ = směrodatná odchylka. [32,33,34]

b) teorie odhadů

Teoretické rozdělení přiřazené neparametrickým testováním k empirickému rozdělení obsahuje neznámé hodnoty parametrů. Tyto hodnoty teoretických parametrů je nutno nejprve odhadnout bodovými či intervalovými odhady a teprve poté lze srovnávat s empirickými.

c) parametrické testování hypotéz

Parametrické testování předpokládá, že empirickému rozdělení lze přiřadit rozdělení normální. Znovu lze využít aparátu nulové a alternativní hypotézy formou testů (u-test, t-test, f-test a χ^2 -test). Lze ho rozdělit na jednovýběrové a dvojevýběrové testování.

d) měření statistických závislostí

Tato metoda se pojí se zkoumáním vícerozměrného výběrového statistického souboru, zde bude zkoumáno více statistických znaků společně. Je zkoumána regresní a korelační závislost, která může být lineární nebo kvadratická. [32,33,34]

Charakteristika zkoumaného statistického souboru

K uskutečnění statistického šetření je nutný dostatečný počet statistických jednotek (výsledků testů). Z toho důvodu byli osloveni studenti českých univerzit poskytujících vzdělání v oboru Radiologický asistent.

Byla oslovena studijní oddělení výše uvedených českých univerzit poskytující vzdělání oboru Radiologický asistent, s žádostí o přeposlání studentům tohoto oboru všech ročníků prezenčního i kombinovaného studia. Prostřednictvím elektronické pošty byl přeposlán edukační text i test.

Na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích byl odpřednášen edukační text studentům prvního ročníku prezenčního studia oboru radiologický asistent v akademickém roce 2015/2016 a bylo přijato celkem 11 vyplněných edukačních testů.

Ze všech obeslaných českých univerzit bylo přijato celkem 52 vyplněných testů.

Z Lékařské fakulty Masarykovy univerzity v Brně a Vysoké školy zdravotnické, o.p.s v Praze nebyl přijat jediný vyplněný test.

Bylo přijato celkem 52 vyplněných testů, takže celkový počet respondentů dosáhl hodnoty 52.

3 Výsledky

3.1 Konceptuální kurikulum

Byla vytvořena sdělitelná struktura základů jaderné fyziky odpovídající konceptuálnímu kurikulu (sdělitelný vědecký systém radiologické fyziky).

3.2 Zamýšlené kurikulum

Transformace konceptuálního kurikula na kurikulum zamýšlené spočívá ve vymezení těch rysů sdělitelné vědy (konceptuálního kurikula), které jsou přiměřené pro adresáty edukace (radiologické asistenty) a současně dostatečné pro pochopení fyzikální podstaty teoretických znalostí jaderné fyziky.

3.3 Projektové kurikulum

Transformace zamýšleného kurikula (tj. fyzikální podstaty teorie jaderné fyziky, která je přiměřená a srozumitelná radiologickým asistentům) umožnila vytvořit edukační text. Předloženo jako Příloha 1.

3.4 Implementované kurikulum-1

Transformace projektového kurikula (edukačního textu) jako příprava na experimentální výuku (tato příprava odpovídá implementovanému kurikulu-1) byla uskutečněna PowerPointovou prezentací a vypracováním edukačního testu. Vypracovaný dotazníkový test je předložen v Příloze 2.

3.5 Implementované kurikulum-2

Transformace implementovaného kurikula-1 (příprava na výuku) a projektového kurikula (vytvoření edukačního tetu) na implementované kurikulum-2 (výsledky dosažené výukou jako vědomosti adresátů edukace) je spojeno se statistickým šetřením výsledků edukačního testu. Statistické metody potřebné k vypracování statistického šetření byly popsány v metodice bakalářské práce.

a) Formulace statistického šetření

Vymezení základních pojmů:

- HNJ měření znalostí studentů oboru „Radiologický asistent“
- SJ student
- SZ rozsah znalostí studentů
- HSZ rozpětí znalostí studentů (8-24 bodů)
- ZSS 52 studentů
- NV nebyl proveden (malý počet respondentů)
- VSS VSS = ZSS = 52 studentů

b) Škálování a měření

Bylo provedeno 52 měření. Pomocí Sturgesova pravidla bylo zvoleno 6 prvků škály.

Sturgesovo pravidlo: $k = 1 + 3,3 \log n$

k počet prvků škály

n počet statistických jednotek

$$k = 1 + 3,3 \log n$$

$$k = 1 + 3,3 \log 43$$

$$k = 1 + 3,3 \cdot 1,63$$

$$k = 6,379 \doteq 6$$

1. prvek škály (méně než 9 bodů)	4 studenti
2. prvek škály (10-12 bodů)	8 studentů
3. prvek škály (13-15 bodů)	18 studentů
4. prvek škály (16-18 bodů)	13 studentů
5. prvek škály (19-21 bodů)	6 studentů
6. prvek škály (22-24 bodů)	3 studenti
Celkem	52 studentů

Škálování je vhodné vyjádření a seskupení hodnot statistického znaku prostřednictvím prvků škály do kategorií. Byla vybrána škála kvantitativní metrická (prvky škály mají stejný rozsah s využitím robustní analýzy, která minimalizuje vliv odlehlých pozorování. K likvidaci bylo přistoupeno z důvodu absence dat nižších bodových ohodnocení).

c) Elementární statistické zpracování

Pro nízký počet respondentů bude provedeno souhrnné statistické šetření úspěšnosti studentů. Nebude brán ohled na ročník ani na formu studia

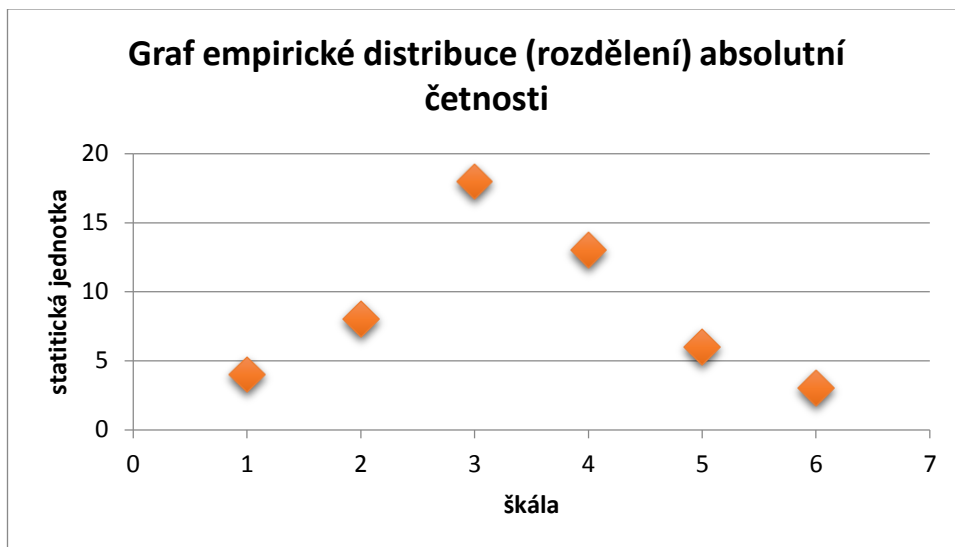
Tabulka elementárního statistického zpracování

Tabulka 1: elementární statistické zpracování

Obecné momenty r-tého řádu:

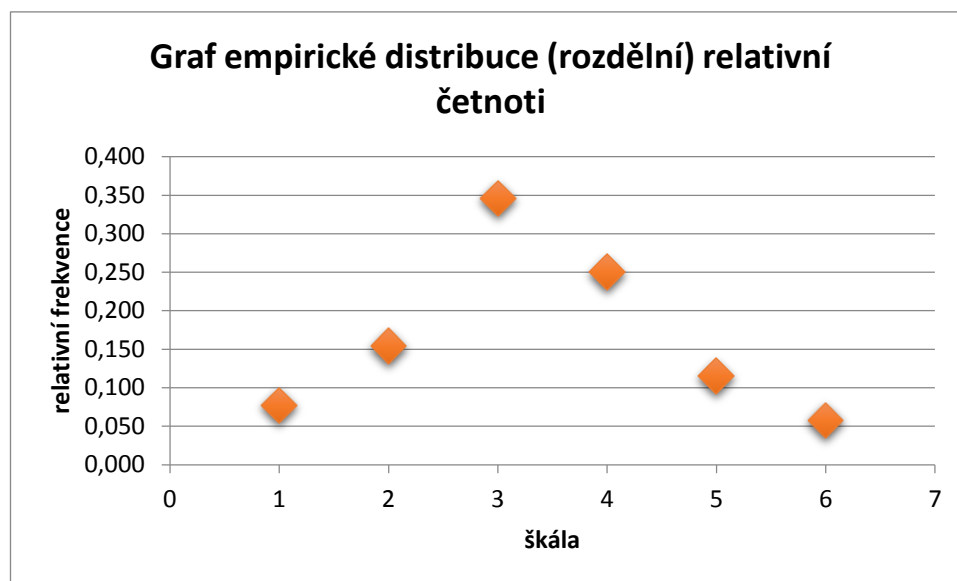
				O_1	O_2	O_3	O_4
x_i	n_i	n_i/n	$\Sigma n_i/n$	$x_i \cdot n_i$	$x_i^2 \cdot n_i$	$x_i^3 \cdot n_i$	$x_i^4 \cdot n_i$
škála	stat.jed.	% zast.					
1	4	0,077	0,077	4	4	4	4
2	8	0,154	0,231	16	32	64	128
3	18	0,346	0,577	54	162	486	1458
4	13	0,250	0,827	52	208	832	3328
5	6	0,115	0,942	30	150	750	3750
6	3	0,058	1,000	18	108	648	3888
Σ	52	1,000		174	664	2784	12556

Graf empirického rozdělení četností – polygon absolutních četností



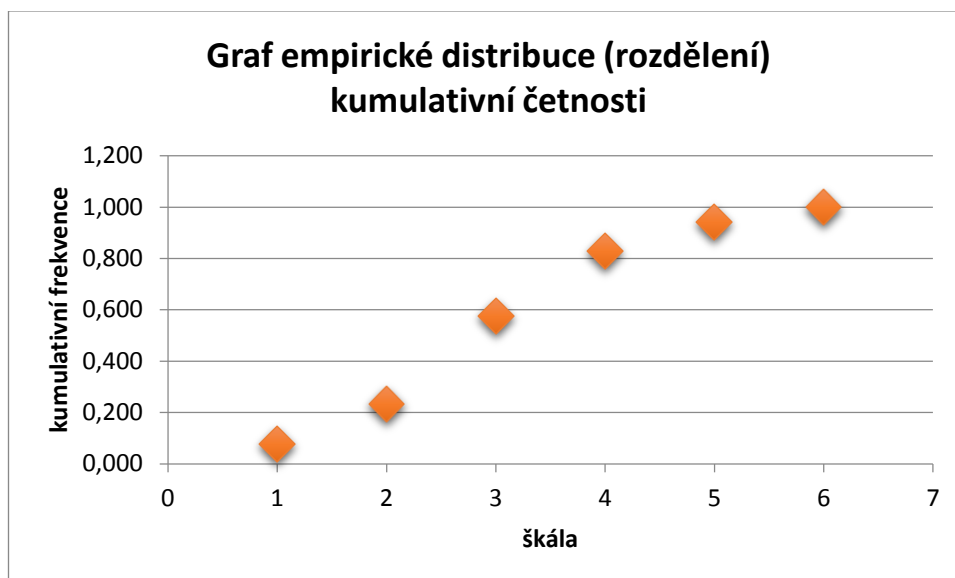
Obr. 11: Graf absolutních četností

Graf empirického rozdělení četností – polygon relativních četností



Obr. 12: Graf relativních četností

Graf empirického rozdělení četností – polygon kumulativních četností



Obr. 13: Graf kumulativních četností

Empirické parametry

- **Parametr polohy** - obecný moment 1. řádu (aritmetický průměr).

Vypočteno podle obecného momentu r-tého řádu

$$O_r(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^r$$

$$O_1(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i$$

$$O_1(x) = \frac{1}{52} 174$$

$$O_1(x) = 3,346$$

- **Parametr variability** - centrální moment 2. řádu

$$C_2 = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^2 - O_1^2$$

$$C_2 = O_2 - O_1^2$$

$$C_2 = \frac{664}{52} - 3,35^2$$

$$C_2 = 12,77 - 11,22$$

$$C_2 = \mathbf{1,55}$$

Směrodatná odchylka

$$S_x = \sqrt{C_2}$$

$$S_x = \sqrt{1,55}$$

$$S_x = \mathbf{1,24}$$

- **Parametr šikmosti** – normovaný moment 3. řádu

$$N_3 = \frac{C_3}{C_2 \sqrt{C_2}}$$

$$C_3(x) = O_3 - 3O_2O_1 + 2O_1^3$$

$$C_3(x) = 53,54 - 3 \cdot 12,77 \cdot 3,35 + 2 \cdot 3,35^3$$

$$C_3(x) = \mathbf{0,3922}$$

$$N_3 = \frac{\frac{1}{n} \sum n_i x_i^3 - 3O_2O_1 + 2O_1^3}{C_2 \sqrt{C_2}}$$

$$N_3 = \frac{0,39 - 3O_2O_1 + 2O_1^3}{C_2 \sqrt{C_2}}$$

$$N_3 = \frac{0,39}{1,55 \sqrt{1,55}}$$

$$N_3 = \mathbf{0,2031}$$

- **Parametr špičatosti** – normovaný moment 4. řádu

$$N_4 = \frac{C_4}{[C_2]^2}$$

$$C_4 = O_4 - 4O_3O_1 + 6O_2O_1^2 - 3O_1^4$$

$$C_4 = 241,46 - 4 \cdot 53,54 \cdot 3,35 + 6 \cdot 12,77 \cdot 3,35^2 - 3 \cdot 3,35^4$$

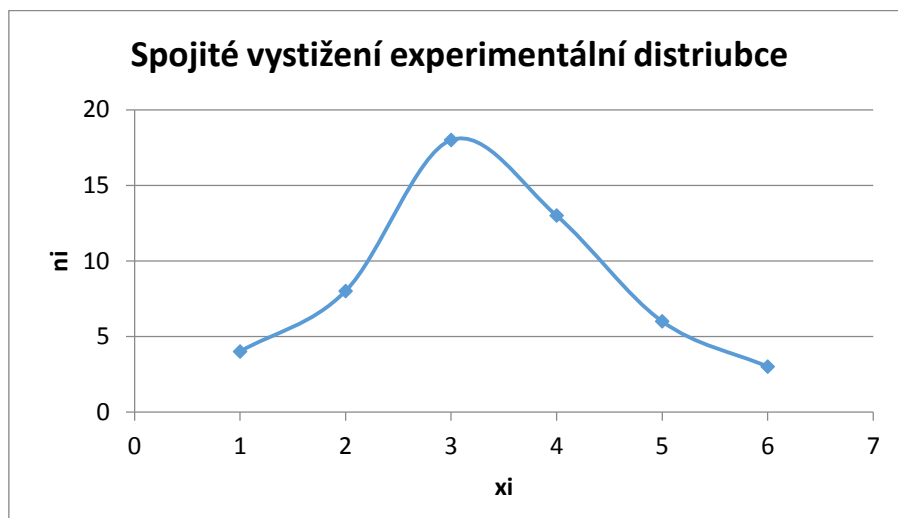
$$C_4 = 6,05843$$

$$N_4 = \frac{O_4 - 4O_3O_1 + 6O_2O_1^2 - 3O_1^4}{[C_2]^2}$$

$$N_4 = \frac{6,06}{2,40}$$

$$N_4 = 2,525$$

Spojité vystižení experimentální distribuce



Obr. 14: Spojitě vystižení experimentální distribuce

Neparametrické testování – χ^2 - test dobré shody

Stanovení nulové a alternativní hypotézy H_0 a H_a .

H_0 : Empirické rozdělení četností lze nahradit Gaussovým normálním rozdělením.

H_a : Empirické rozdělení četností nelze nahradit Gaussovým normálním rozdělením.

Aplikace χ^2 testu.

$$\chi^2_{\text{exp}} = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \wedge p_i = \Phi u_i - \Phi u_{i-1} \wedge u_1 = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

Tab 2: Tabulka pro neparametrické testování hypotéz

x_i	x_i	x_i	n_i
škála	(a;b)	střed	stat.jed.
1	(0;9)	4	4
2	(10;12)	11	8
3	(13;15)	14	18
4	(16;18)	17	13
5	(19;21)	20	6
6	(22; ∞)	23	3
Σ			52

Stanovení nulové hypotézy H_0 : Znalosti studentů mají rozdělení blízké normálnímu rozdělení (Gaussova funkce).

Alternativní hypotéza H_1 : Znalosti studentů jsou odlišné od normálního rozdělení.

$x_i = 9, 12, 15, 18, 21, 24, \infty$ horní mez intervalu

$\mu = O_1 = 3,35$

$\sigma = S_x = 1,24$ směrodatná odchylka

V následující tabulce jsou hodnoty Φu_i přiřazeny dle statistických tabulek.

Tabulka 3: Hodnoty pro Pearsonův test dobré shody

x_i	x_i	x_i	n_i	u_i	Φu_i	p_i	np_i
škála	(a;b)	střed	stat.jed.				
1	(0;9)	4	4	-1,36	0,09	0,09	4,68
2	(10;12)	11	8	-0,66	0,25	0,16	8,32
3	(13;15)	14	18	0,05	0,52	0,27	14,04
4	(16;18)	17	13	0,75	0,77	0,25	13,00
5	(19;21)	20	6	1,45	0,93	0,16	8,32
6	(22; ∞)	23	3	2,15	0,98	0,05	2,60
Σ			52				

Z tabulky je patrné, že prvky škály x1 a x6 nesplňují podmínku Pearsonova χ^2 -testu, podmínkou tohoto testování je absolutní četnost v každé škále je vyšší nebo rovna 5. Z tohoto důvodu je nutné škálu x1 a x2 sloučit do jedné, taktéž škálu x5 a x6. Tím bude podmínka splněna.

Tabulka 4: Hodnoty pro Pearsonův test dobré shody- po úpravě

x_i	x_i	x_i	n_i	np_i
škála	(a;b)	střed	stat.jed.	
1,2	(10;12)	4	12	13,00
3	(13;15)	14	18	14,04
4	(16;18)	17	13	13,00
5,6	(19;21)	20	9	10,92
Σ			52	

Konečným pomocným výpočtem umožňujícím stanovení experimentální hodnoty testového kritéria χ^2_{exp} je vypočtení $\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$ pro jednotlivé škály.

$$\chi^2_{\text{exp}} = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$$

$$\chi^2_{\text{exp}} = \frac{(12 - 13,00)^2}{13,00} + \frac{(18 - 14,04)^2}{14,04} + \frac{(13 - 13,00)^2}{13,00} + \frac{(9 - 10,92)^2}{10,92}$$

$$\chi^2_{\text{exp}} = 0,08 + 1,12 + 0 + 0,34$$

$$\chi^2_{\text{exp}} = 1,54$$

Při testování bude použit χ^2 - test, při jeho aplikaci bude písmeno k označovat počet intervalů intervalového rozdělení četnosti, které odpovídají alespoň absolutní četnosti 5, písmeno r pak počet teoretických parametrů normálního rozdělení (tj. $r=2$).

Výraz $v=k-r-1$ vyjadřuje počet stupňů volnosti, který umožňuje společně s určenou hladinou významnosti určovat pomocí statistických tabulek kritickou teoretickou hodnotu $\chi^2_{\text{teoretické}} = \chi^2_{k-r-1}$. Hladina významnosti je volena $\alpha = 0,05$.

$$v=k-r-1=4-2-1=1$$

$$\chi^2_{teoritické} = \chi^2_1$$

Kritický obor W

$$W=(\chi^2_{teoritické}(\alpha); +\infty)$$

$$W=(\chi^2_1(0,05); +\infty)$$

$$W = (3,84; \infty)$$

Tabulka kritické hodnoty $\chi^2_{rozdělení}$ (pravý konec rozdělení) při $\alpha= 0,05$.

χ^2 experimentální není prvkem kritického oboru a lze tedy přijmout nulovou hypotézu - empirické rozdělení četnosti u znalostí studentů lze nahradit na hladině statické významnosti 0,05 normálním rozdělením. To znamená, že edukační text byl napsán přiměřeně adresátům edukace a druhá výzkumná hypotéza byla tedy potvrzena. Rovněž první hypotéza byla potvrzena - aplikací teorie kurikulárního procesu byl získán edukační text (projektové kurikulum), který na základě prozkoumání implementovaného kurikula-2 prostřednictvím edukačního textu je přiměřený adresátům edukace.

4 Diskuze

Tato bakalářská práce vycházela z ověřování dvou hypotéz:

- vytvořit přiměřeně srozumitelný edukační text aplikací kurikulárního procesu
- znalosti studentů získané na základě předloženého edukačního textu budou mít normální rozdělení.

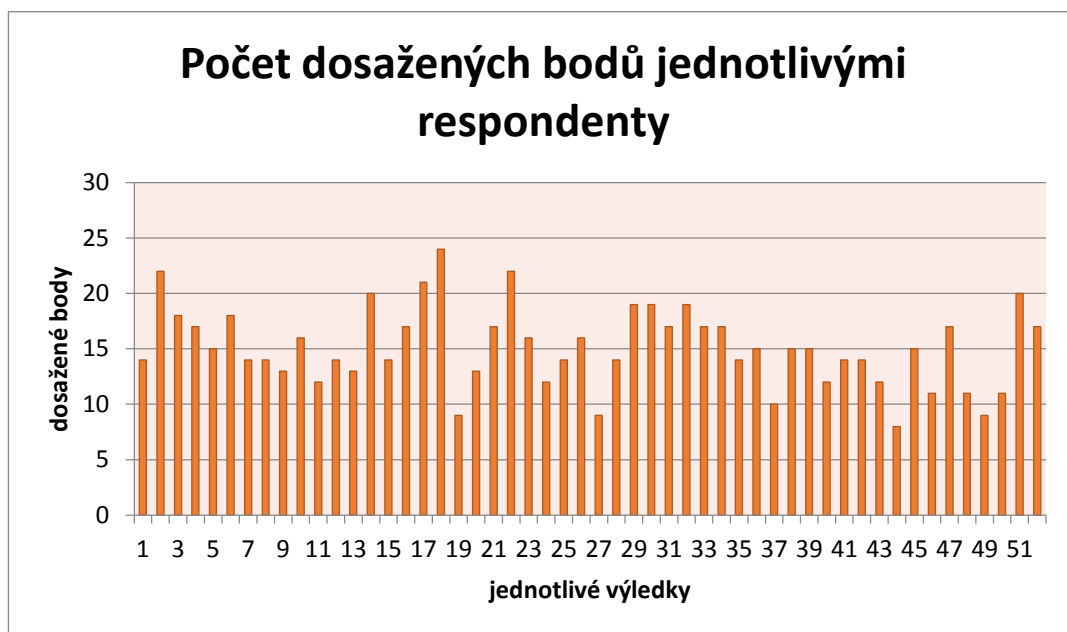
Statistickým šetřením byla ověřena první hypotéza práce – vypracování vhodného a přiměřeně srozumitelného edukačního textu odpovídajícího možnostem a potřebám adresátů edukace. Vytvoření edukačního textu je možné provést pomocí vhodné aplikace teorie kurikulárního procesu.

Statistickým šetřením bylo dále prokázáno, že je možné přijmout nulovou hypotézu a nahradit empirické rozdělení teoretickým normálním rozdělením. Naměřené hodnoty lze nahradit Gaussovou křivkou, která vyjadřuje normální spojité rozdělení. Tímto byla ověřena druhá hypotéza, že znalosti studentů zprostředkované vytvořením edukačního textu budou mít normální rozdělení.

Normálním rozdělením se rozumí, že pravděpodobnost průměrné hodnoty znalostí bude klesat směrem k hodnotám vyšším a také klesat směrem k hodnotám nižším, v souladu s Gausovou křivkou. Výsledek statistického šetření, vypovídající o normálním rozdělení znalostí studentů, byl v souladu s parametry normálního rozdělení.

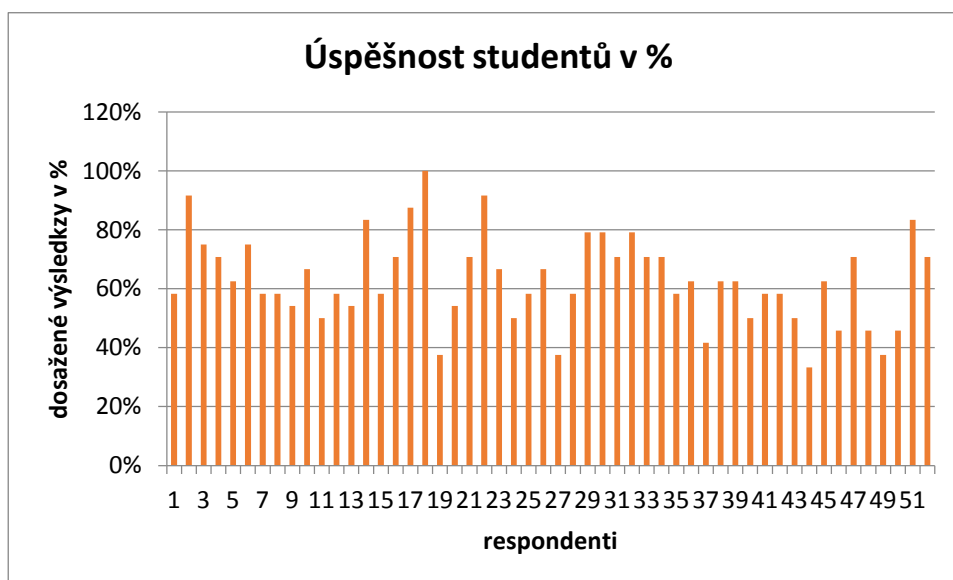
Obě hypotézy byly potvrzeny statistickým zpracováním výsledků, které byly získány experimentální výukou a vypracováním dotazníkového edukačního testu studenty. Na základě dosažených výsledků lze shrnout, že cíle této bakalářské práce byly potvrzeny. Byl vhodně použit kurikulární proces, byl vhodně vypracován srozumitelný edukační text zohledněný možnostem adresátů edukace a také následně vhodně sestaven i dotazníkový test, který byl položen adresátům.

Z maximálního počtu bodů (celkem 24) bylo jedním studentem dosaženo 24 bodů a jedním respondentem pouhých 8 bodů. Hodnoty výsledků většiny studentů byly v rozmezí 13-15 bodů. Byl vytvořen sloupcový graf vyjadřující počet dosažených bodů v testu jednotlivými studenty.

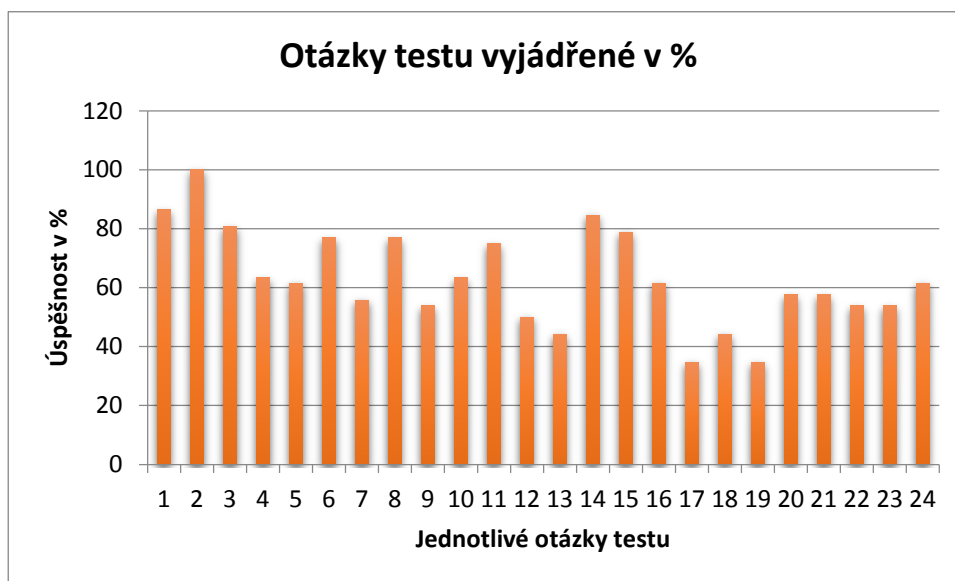


Obr. 15: Počet dosažených bodů jednotlivými respondenty

Další sloupcový graf vyjadřující úspěšnost studentů v jednotlivých otázkách textu v procentech.



Obr. 16: Úspěšnost studentů v %



Obr. 17: Otázky testu vyjádřené v %

Z třetího grafu lze vyhodnotit otázky s nejnižším počtem a nejvyšším počtem bodů. Otázky s nejnižší mírou úspěšnosti odpovídají návrhům v oblasti, ve kterých by bylo přínosné zkvalitnit fyzikální přípravu radiologických asistentů. Výchet těchto otázek je následující:

- 13) Foton je: ...
- 17) Při přeměně beta mínus jádro emituje: ...
- 18) Z hlediska vnitřní kontaminace jsou nejvíc nebezpečné: ...
- 19) Polovodičové detektory jsou založeny na ionizačních účincích: ...

5 Závěr

V bakalářské práci byla použita aplikace metody kurikulárního procesu a v rámci zkoumaného problému se potvrdilo, že vědecké poznatky je možné zpracovat i sdělitelným způsobem. Byl vytvořen přiměřený edukační text, který je vhodný pro výuku teorie jaderné fyziky pro studenty oboru radiologický asistent a obory příbuzné. Statistické šetření bylo zaměřeno na ověření dvou hypotéz:

- ověření aplikace kurikulárního procesu na oblast teoretických základů jaderné fyziky.

- ověření, že znalosti studentů získané na základě předloženého edukačního textu a absolvování výuky, budou mít normální rozdělení.

Obě hypotézy byly ověřeny a tím byly naplněny cíle bakalářské práce.

Bakalářská práce se zabývala konceptuálním kurikulem (sdělitelným vědeckým systémem), zamýšleným kurikulem (edukačním systémem), projektovým kurikulem (edukačním textem a edukačním testem), implementovaným kurikulem-1 (přípravou na výuku) a implementovaným kurikulem-2 (dosažené výsledky výuky na základě položení edukačního testu a jeho statistického vyhodnocení).

První hypotéza zněla: „Vytvoření vhodného edukačního textu pro radiologické asistenty lze dosáhnout aplikací kurikulárního procesu“. Druhá hypotéza zněla: „Znalosti studentů získané pomocí vypracovaného edukačního textu budou mít normální rozdělení“. Statistické šetření prokázalo normální rozdělení znalostí studentů (Gaussova křivka) a tím i přiměřenost edukačního textu možnostem respondentů – tj. možnostem adresátů edukace. Obě základní hypotézy byly ověřeny metodami neparametrického testování a rovněž i metodami deskriptivní statistiky.

Bakalářská práce dosáhla jednak přínosů teoretických – aplikace teorie kurikulárního procesu na edukaci radiologických asistentů v oblasti teoretických základů jaderné fyziky. Bylo dosaženo také přínosů praktických – vytvoření edukačního textu a edukačního testu, které lze využít ve vysokoškolské výuce radiologické fyziky pro obor „radiologický asistent“ a pro studijní obory příbuzné.

Lze doporučit zkvalitnění fyzikální přípravy studentů na základě výsledků analýzy jednotlivých otázek edukačního testu.

6 Seznam informačních zdrojů

1. MAŇÁK, Josef, JANÍK, Tomáš a ŠVEC, Vlastimil. *Kurikulum v současné škole*. Brno: Paido, 2008. ISBN 978-80-7315-175-1.
2. JANÍK, Tomáš, MAŇÁK, Josef, a KNECHT, Petr. *Cíle a obsahy školního vzdělávání a metodologie jejich utváření*. Brno: Paido 2009. ISBN 978-80-7315-194-2.
3. WALTEROVÁ, Eliška. *Kurikulum: proměny a trendy v mezinárodní perspektivě*. Brno Masarykova univerzita 1994. ISBN 80-210-0846-6.
4. KASÍKOVÁ, H. – VALENTA, J. *Reformu dělá učitel*. Praha UK, 1994. ISBN 80-901-660-0-8.
5. METODICKÝ PORTÁL RVP, *Pedagogický lexikon*. [online]. [cit. 2016-02-02].
Dotupné z:
http://wiki.rvp.cz/Knihovna/1.Pedagogick%C3%BD_lexikon/K/Kurikulum?highlight=kurikulum
6. PRŮCHA, Jan. *Moderní pedagogika*. Praha: PORTÁL 1997. ISBN 978-807367-503-5.
7. PRŮCHA, Jan, WALTEROVÁ, Eliška, MAREŠ, Jiří. *Pedagogický slovník*. Praha: PORTÁL 1995. ISBN 978-80-7367-647-6.
8. ZÁŠKODNÝ, Přemysl a Helena ZÁŠKODNÁ. *Metodologie vědeckého výzkumu: methodology of scientific research*. 1st. ed. Praha: Curriculum, 2014, ISBN 978-80-87894-03-3.
9. ZÁŠKODNÝ, P. *Kurikulární proces fyziky (s přehledem základů teoretické fyziky)*. Ostrava: ALGORITMUS, 2009. ISBN 978-80-902491-0-3.
10. ZÁŠKODNÝ, P. *Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii)*. Bratislava: DIDAKTIS, 2005. ISBN 80-89160-25-5.
11. WIKIPEDIE. Otevřená encyklopedie: *Jaderná fyzika* [online]. c2014 [citováno 16. 03. 2016]. Dostupný z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_fyzika
12. ULLMANN, V. "*AstroNuklFyzika*" - jaderná fyzika, astrofyzika, kosmologie, filosofie. *Jaderná a radiační fyzika - Elementární částice* [online].

- [cit. 2016-02-08]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika5.htm#Linac>
13. WIKIPEDIE. Otevřená encyklopedie: *Elementární částice* [online]. 2015 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Element%C3%A1rn%C3%AD_%C4%8D%C3%A1stice&oldid=13173447
 14. ALDEBARAN. *Elementární částice* [online] [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/interakce/particles.html>
 15. WIKISKRIPTA. *Radioaktivní rozpad*. [online]. 2008 [cit. 2016-03-16]. ISSN 18046517. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Radioaktivní_rozpad&oldid=3382
 16. REICHL, J. a M. VŠETIČKA. *Multimediální encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/807-aktivita-zarice-a-rozpadovy-zakon>
 17. NAVRÁTIL, Leoš, ROSINA, Josef a kolektiv. *Medicínská biofyzika*. Praha: GRADA, 2005. ISBN 80-247-1152-4.
 18. BINAROVÁ, A. *Radioterapie*. Ostravská univerzita v Ostravě: Tribun, 2010. ISBN 978-80-7368-701-4.
 19. WIKISKRIPTA. *Absorpce, Lambertův zákon*. [online]. 2008- [cit. 2016-03-16]. ISSN 18046517. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Absorpce,_Lambertův_zakon&oldid=340035
 20. Radiologická fyzika II. doplňkové texty pro posluchače kombinované formy studia studijního programu „B5345 – Specializace ve zdravotnictví“ studijního oboru „Radiologický asistent“ Doc.RNDr. Přemysl Záškodný,CSc.
 21. HABRMAN P. *Vybraná měření v atomové a jaderné fyzice*. SU Opava, 2001. ISBN 80-7248-130-4.
 22. LIŠČÁK, Roman a kolektiv, *Radiochirurgie gama nožem*. Praha: GRADA, 2009. ISBN 978-80-247-2350-1.
 23. ULLMANN, V. "AstroNuklFyzika" - jaderná fyzika, astrofyzika, kosmologie, filosofie. Jaderná a radiační fyzika - [online].[cit. 2016-02-08]. Dostupné z:

- <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm>15
24. WIKIPEDIE, Otevřená encyklopedie. *Absorbovaná dávka*. [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Absorbovan%C3%A1_d%C3%A1vka
 25. WIKISKRIPTA. *Ionizační komora* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z:
http://www.wikiskripta.eu/index.php/Ioniza%C4%8Dn%C3%AD_komora
 26. VŠEOBECNÁ ENCYKLOPEDIIE „cojeco“. *Detektor záření* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z:
http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=19383&s_lang=2&title=detektor%20z%E1%F8en%ED
 27. DAVYDOV, A. S. *Kvantová mechanika*, SPN Praha, 1986. ISBN 80-7235-960-6.
 28. SVOBODA, E. a kolektiv. *Přehled středoškolské fyziky*. 1996. ISBN 978-80-7196-438-4.
 29. SIRDIK, *Radiobiologie*. [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z:
<http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/13/133.html>
 30. Pravděpodobnost a statistika. Statistický soubor s jedním argumentem [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/KAP07/KAP07.HTM>
 31. Matematika polopatě — pro základní, střední a vysoké školy. *Základy statistiky — Matematika polopatě* [online]. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://www.matematika.cz/zaklady-statistiky>
 32. ZÁŠKODNÝ, P. et al. *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)*. Praha: CURRICULUM, 2013. ISBN 978-80-904948-2-4.
 33. KOZLOVSKÁ, D. Z. FREITINGER SKALICKÁ a P. ZÁŠKODNÝ. *Úvod do praktika z radiologické fyziky*. České Budějovice: ZSF JU, 2005. ISBN 80-7040-797-2.
 34. ZÁŠKODNÝ, P. *Základy pravděpodobnosti a statistiky (data miningový přístup)* [PDF]. Praha: 2013. ISBN 978-80-904 948-5-5.

7 Seznam obrázků, tabulek, grafů

Obrázek 1: Standardní model částicové fyziky	22
Obrázek 2: Závislost vazební energie jádra vztažené na jeden nukleon Chyba! Záložka není definována.	23
Obrázek 3: Průběh výsledného potenciálu v okolí jádra s nábojem Ze	25
Obrázek 4: Základní schéma jaderné reakce vyvolané částicí ostřelující jádro	26
Obrázek 5: Přirozené radionuklidy	28
Obrázek 6: Časový průběh radioaktivní přeměny	29
Obrázek 7: Grafické znázornění absorpčního zákona	31
Obrázek 8: Schéma ionizační komory	36
Obrázek 9: Schéma lineárního urychlovače	39
Obrázek 10: Schéma cyklotronu.....	40
Obrázek 11: Graf absolutních četností	58
Obrázek 12: Graf relativních četností	58
Obrázek 13: Graf kumulativních četností.....	59
Obrázek 14: Spojité vystižení experimentální distribuce	61
Obrázek 15: Počet dosažených bodů jednotlivými respondenty	66
Obrázek 16: Úspěšnost studentů v %	66
Obrázek 17: Otázky testu vyjádřené v %.....	67
Tabulka 1: Elementární statistické zpracování	57
Tabulka 2: Tabulka pro neparametrické testování hypotéz	62
Tabulka 3: Hodnoty pro Pearsonův test dobré shody	62
Tabulka 4: Hodnoty pro Pearsonův test dobré shody po úpravě	63

8 Přílohy

8.1 Příloha 1

Edukační text: teoretické základy jaderné fyziky pro radiologické asistenty

Fyzika je obor vědy, který zkoumá přírodní jevy a objekty a jejich zákonitosti. Vztahy mezi objekty vyjadřuje fyzika pomocí matematiky. Její poznatky se následně aplikují v praxi, což přispívá k rozvoji civilizace. [13]

Podle velikosti jsou fyzikální objekty rozděleny do tří kategorií:

Makrofyzikální objekty, které pozorujeme smysly, optickým mikroskopem nebo dalekohledem. Od molekul až po Slunce a planety a hvězdy tvořící galaxii. K mikrofyziice patří celá klasická fyzika vyjma molekulové fyziky. [10]

Mikrofyzikální objekty lze pozorovat nejmodernějšími elektronovými mikroskopy a z části lze jejich existenci dokázat nepřímými experimenty. Mezi mikroobjekty patří molekuly, atomy, ionty, atomová jádra a elementární částice. Mikrofyziika zahrnuje fyziku molekulovou, atomovou, jadernou, fyziku pevných látek, fyziku vysokých energií a kvantovou fyziku. [10]

Megafyzikální objekty pozorujeme nejsilnějšími optickými dalekohledy a jejich existenci také lze dokázat nepřímými experimenty. K megaobjektům řadíme kupy galaxií a jejich nadkupy. Z fyziky lze zahrnout k metafyzice obecnou teorii relativity a gravitaci. [10]

Struktura atomového jádra

Nejmenší a tedy základní stavební jednotkou hmoty je atom. Vydejme se ale do světa 10 000 x menšího, do světa atomových jader. První náznaky existence světa atomových jader a elementárních částic nám poskytl objev radioaktivity. [29]

Atomové jádro je vnitřní kladně nabitá část atomu a tvoří jeho hmotnostní i prostorové centrum. Atomové jádro představuje 99,9% hmotnosti atomu. Průměr jádra činí přibližně 10^{-15} m, což je přibližně 100 000x méně, než průměr celého atomu. [13]

Atomová jádra se označují chemickou značkou příslušného prvku a číslem, které je součtem protonů a neutronů v něm obsažených. Celkovému počtu nukleonů (tedy protonů i neutronů) říkáme číslo nukleonové (hmotnostní) A. Protonové (atomové) číslo Z udává počet protonů. Různé izotopy prvku jsou určeny stejným Z a odlišným A. Izobary mají Z odlišné a A shodné. Nuklid má Z i A shodné. Izomer má Z shodné s A, ale odlišné radioaktivní vlastnosti [10,29] I

Jak je možné, že jádro drží pohromadě? Podle japonského fyzika Hideki Yukawy (1935 navrhl radikální teorii přitažlivé síly mezi nukleony) drží nukleony v jádře pohromadě, protože se neustále na velmi krátkou chvíli rodí různé mezony a před svým zánikem mohou přeskakovat z jednoho nukleonu na jiný. Energie potřebná ke zrození mezonu je vypůjčena z kvantové banky a musí být rychle vrácena. V každém okamžiku jádro musí kromě protonů a neutronů obsahovat také mezony. K pochopení je nutná i skutečnost, že protony a neutrony, stejně jako mezony, jsou složené objekty. Skládají se z fundamentálnějších stavebních kamenů, z „kvarků“, které jsou v nukleonech a mezonech drženy silou způsobenou výměnami „gluonů“ [12,29]

Interakce	Nositel působení	Dosah
silná (fundamentální a zbytková)	gluon	krátký dosah (nukleony, jádra)
elektromagnetická	foton	dlouhý dosah (stabilita atomů)
slabá	intermediální bosony W, Z	krátký dosah kvark <i>d</i> a <i>u</i> odpovědnost za přeměnu nebo rozpad mikroobjektů (radioaktivita)
gravitační	graviton není náboj	neomezený megaobjekty, megasvět

Obr. 1. Standardní model částicové fyziky. Dostupné z:
http://www.wikiskripta.eu/index.php/Standardn%C3%AD_model_%C4%8D%C3%A1sticov%C3%A9_fyziky

Proton se skládá ze dvou kvarků u a jednoho d (silná interakce). Oproti neutron se skládá ze dvou kvarků d a jednoho u (silná interakce)

Tato síla nazývaná silná jaderná interakce je asi 100 x silnější než síly elektrické a má specifickou zvláštnost – má krátký dosah. [12]

Vzájemné působení mezi částicemi látky na úrovni atomových jader a elementárních částic řeší interakce:

Silná interakce – důležitá především tím, že udržuje pohromadě atomová jádra (primárně kvarky slučuje do protonů a neutronů, mezonů a dalších hadronů). Silná interakce je odpovědná za to, že objekty (hvězdy, lidé, ...) jsou těžké. Většina hmotnosti daného objektu je soustředěna právě v atomovém jádru.). [12]

Slabá interakce – uplatňuje se při vzájemných přeměnách neutronů a protonů za účasti neutrin, v praxi např. při radioaktivitě beta. Slabá jaderná síla – jedná se o interakci, která způsobuje β rozpad. Podléhají jí částice, které nejsou nabitě (např. neutrina). Bez této interakce by se příroda obešla: 95 % částic by se jen přestala rozpadat. Tato interakce je tedy zodpovědná nikoliv za stabilitu mikroobjektů, ale za jejich přeměnu, případně rozpad. [10,12]

Elektromagnetická interakce – určité druhy částic, které nazýváme elektricky nabitě, vykazují vzájemné silové působení. Jsou-li tyto elektricky nabitě částice v klidu, působí mezi nimi přitažlivá nebo odpudivá elektrická síla podle Coulombova zákona, jsou-li v pohybu, přistupuje ještě síla magnetická, při nerovnoměrných pohybech nábojů pak i vyzářování elektromagnetických vln – fotonového záření. Elektromagnetická interakce má dlouhý dosah (dosah je nekonečný). Její velikost je nulová v nekonečné vzdálenosti od nabitě částice. Tato interakce fixuje velikost atomů, strukturu pevné látky, způsobuje vazbu mezi elektronem a jádrem, ... Elektromagnetická síla tedy vytváří objem objektů. Většina sil z běžného života (třecí síly, odporové síly, ...) jsou projevem právě elektromagnetické interakce.[12,10]

Gravitační interakce - ve světě částic je její účinek zanedbatelně malý. Její význam je ale dominantní pro astronomii - drží pohromadě soustavy nebeských těles. Její silové projevy jsou v klasické fyzice popsány Newtonovým gravitačním zákonem, v relativistické Einsteinovými rovnicemi gravitačního pole. Na rozdíl od elektromagnetické interakce nelze gravitační interakci žádným způsobem odstínit. Malý účinek této interakce v mikrosvětě je dán malou hmotností objektů mikrosvěta. Gravitační síla je téměř zanedbatelná.[10,12]

Jaderné reakce jsou změny v atomu, které se netýkají elektronového obalu, ale pouze jádra. Celková hmotnost jádra je nižší, než by byla hmotnost částic, které je tvoří. Každé jádro, kromě jádra vodíku váží méně, než by mělo. Tento jev se nazývá **hmotnostní defekt jádra B_j** . [14]

$$\text{Je dán vztahem } B_j = Z \cdot m_p + (A - Z)m_n - m_j,$$

kde m_p a m_n jsou klidové hmotnosti protonu a neutronu, m_j je klidová hmotnost jádra, $Z \cdot m_p$ celková hmotnost protonu, $A - Z$ hmotnost neutronu.

Míra úbytku hmotnosti se udává **koeficientem stěsnání jádra P**.

Koeficient stěsnání jádra P je to bezrozměrné číslo definované vztahem

$$P = (A_r - A) / A$$

A_r je relativní atomová hmotnost, která udává, kolikrát je atom hmotnější než 1/12 nuklidu uhlíku $^{12}_6\text{C}$.

Hmotnost 1/12 nuklidu uhlíku $^{12}_6\text{C}$ definuje atomovou hmotnostní konstantu (atomovou hmotnostní jednotku) m_u a má hodnotu $m_u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{kg}$.

Hmotnost m atomu s relativní atomovou hmotností A_r je $m = A_r \cdot m_u$. Relativní atomová hmotnost protonu je 1,007, neutronu 1,009, elektronu 0,00055, lehkého vodíku 1,00755. [10]

Atomy s vyšším koeficientem stěsnání jsou obvykle stabilnější, proto jsou prvky s vysokým protonovým číslem často radioaktivní. [14]

Vazební energie jádra je dána vztahem

$$W_j = B_j \cdot c^2 .$$

Tuto energii je třeba jádru dodat, aby se již vytvořené jádro rozložilo na volné nukleony.

Poloměr jádra r_j . Za poloměr jádra lze označit vzdálenost, ve které ještě na nukleon působí jaderné síly. U velkých jader (např. uran, thorium apod.) se poloměry pohybují kolem 10^{-14} m. Empiricky zjištěný vztah pro poloměr jádra je dán závislostí

$$r_j = R \sqrt[3]{A},$$

kde konstanta $R \sim 1,3 \cdot 10^{-15}$ m [10]

Spin je kvantová vlastnost elementárních částic. Jde o vnitřní moment hybnosti částice v tom smyslu, že spiny částic přispívají k celkovému momentu hybnosti soustavy. Jeho velikost je pro každou částici přesně daná, nelze ji nijak měnit. Např. celkový spin a magnetický moment jader hélia (alfa částic) je nulový, jádra hélia se chovají jako bosony. [10,13]

Radioaktivita

Tímto pojmem nazýváme spontánní rozpad či přeměnu jader, je to proces vedoucí a transmutaci jader za vzniku ionizujícího záření. Proces, kdy se dva nukleony, nebo dvě jádra, nebo nukleon či jiná částice a jádro, přiblíží k sobě, vstoupí do oblasti působení silné jaderné interakce, což vyvolá v jádrech změny počtu, energií a konfigurací nukleonů, které mohou vést k emisi dalších částic. Výsledkem je transmutace jádra – buď na jiný izotop téhož prvku (změna počtu neutronů), nebo na jádro jiného prvku (změna počtu protonů). Nové jádro vzniká téměř vždy ve vzbuzeném stavu, při jeho deexcitaci je emitováno záření γ . Jádra přeměněná při jaderných reakcích jsou často radioaktivní (většinou β^- či β^+), jaderné reakce jsou proto nejdůležitějším způsobem výroby umělých radionuklidů. [12]

Radioaktivitu objevil v roce 1895 Henri Becquerel u solí uranu. K objasnění podstaty radioaktivity zásadním způsobem přispěli francouzští fyzikové Pierre Curie a Marie Curie-Sklodovská, která byla polského původu.[13]

Radioaktivní přeměna je charakterizována třemi významnými vlastnostmi:

- Mění chemickou podstatu látky, přeměnou se mění složení atomového jádra, a tím dochází ke změně jednoho nuklidu na druhý.
- Je nezávislá na vnějších podmínkách (tlak, teplota, vlhkost) tzn., že rychlost radioaktivní přeměny nelze nijak ovlivnit, zpomalit nebo zastavit.
- Je doprovázena emisí jednoho až tří druhů záření alfa (jádra hélia), beta (elektrony), gama (fotony). [29]

Radioaktivita se dělí na přirozenou a umělou:

Přirozená radioaktivita je důsledkem samovolné přeměny spontánně se měnících jader, která se vyskytují v přírodě. Při přirozené radioaktivní přeměně jsou vysílána záření alfa, beta a gama. Přirozeně radioaktivní prvky tvoří čtyři radioaktivní rozpadové řady končící stabilními izotopy olova a vizmutu.

Čtyři základní rozpadové řady: [13]

- Uranová, začínající uranem ^{238}U a končící olovem ^{206}Pb
- Aktiniová, začínající aktiniem Ac a končící olovem ^{207}Pb
- Thoriová, začínající thoriem ^{232}Th a končící olovem ^{208}Pb
- Neptuniová (umělá), začínající plutoniem ^{241}Pu a končící Bismutem ^{209}Bi

Rozpadový (přeměnový) zákon

Rozpad jádra je nevratný děj. Jakmile se jádro jednou rozpadne, nedojde k jeho „složení“. Rozpad jádra je náhodný děj. Rozpadový (přeměnový) zákon popisuje ubývání mateřského prvku s časem. Vychází z předpokladu, že pravděpodobnost radioaktivní přeměny jádra během zvoleného časového intervalu je pro každý mateřský prvek konstantní (bez ohledu na poloze časového intervalu na časové stupnici). [10,15]

Předpokládejme nejdříve jen jeden atom. Pravděpodobnost, že se rozpadne, je v libovolném čase stejná, je úměrná pouze délce tohoto intervalu. Pro nekonečně krátký časový interval dt se tedy pravděpodobnost p rozpadu konkrétního atomu určí jako:

$$dp = \lambda dt = - dn/n$$

(znaménko minus popisuje ubývání mateřských prvků s časem)

Rovnice rozpadového zákona:

$$n = n_0 \cdot \exp^{-\lambda t}$$

Přechod ke tvaru

$$n = n_0 \cdot \exp^{\frac{-\ln 2}{T} \cdot t}$$

$$t = T \Rightarrow n = n_0/2$$

$$x = a \Rightarrow n = n_0/2$$

$$t = T \text{ jen tehdy } n = n_0/2$$

$$\frac{n_0}{2} = n_0 \cdot \exp^{-\lambda T} \quad / \text{dělím } n_0$$

$$\frac{1}{2} = \exp^{-\lambda T} \quad / \ln \text{ aplikace inverzní fce}$$

$$\ln \frac{1}{2} = \ln \exp^{-\lambda T}$$

$$-2 \ln = -\lambda T \quad / \text{násobím } -1$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

T poločas rozpadu (doba, za kterou se přemění $\frac{1}{2}$ mateřských prvků v dceřiné)
(tj. za čas $t=T$ bude $n=n_0/2$)

n_0 počet mateřských jader v čase $t=0$

n počet mateřských jader po uplynutí času t

λ rozpadová (přeměnová) konstanta (pravděpodobnost, že se mateřské jádro rozpadne v dceřiné za 1. sec.)

t plynoucí čas

e Eulerovo číslo, základ přirozených logaritmů ($e=2,71$). [10]

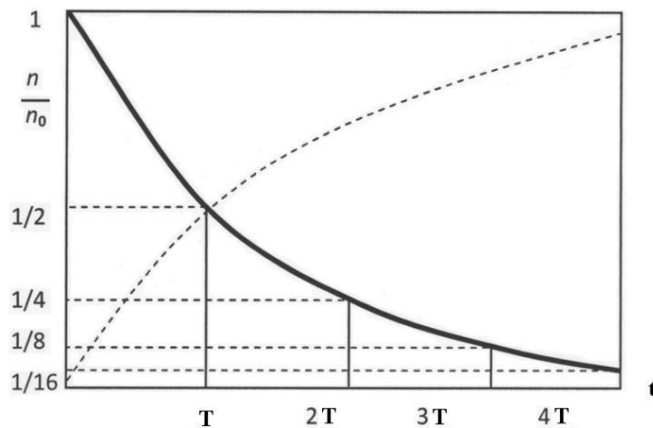
$$\mu = \mu_{FJ} + \mu_{CJ} + \mu_{AJ}$$

μ .. pravděpodobnost úbytku částic v jednotkové vzdálenosti

μ_{FJ} fotony vzniklé fotoelektrickým jevem

μ_{CJ} fotony vzniklé comptonovým rozptylem

μ_{AJ} fotony vzniklé anihilačním jevem.



Obrázek 6: Grafické znázornění rozpadového zákona

zdroj: ZÁŠKODNÝ, P. *Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii)*. Bratislava: DIDAKTIS, 2005. ISBN 80-89160-25-5.

Rovnice rozpadového zákona

$$n = n_0 \cdot e^{-\mu x}$$

Přechod ke tvaru

$$n = n_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{a} \cdot x}$$

Předpoklad $x = a \Rightarrow n = \frac{n_0}{2}$ na dráze x (hloubce, kterou mají částice uletět) rovnající se a jako polovrstvě pronikne n počet částic rovnající se polovině počtu částic, které dopadly na povrch.

n_0 počet částic na povrchu

n počet částic, které se dostaly do hloubky $x=a$

$$\frac{n_0}{2} = n_0 \cdot e^{-\mu a} \quad \text{dokazujeme, že } \mu = \ln 2 / a$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\mu a} \quad / \cdot \ln \text{ aplikujeme inverzní funkci}$$

$$-\ln 2 = -\mu \cdot a$$

$$\mu = \ln 2 / a$$

Rozpadový zákon popisuje zdroje záření a potvrzuje se nejen pro přirozeně radioaktivní záření, ale i pro všechny druhy záření uměle radioaktivní (pozitronová, protonová, neutronová). V grafu (obrázek 6) se nacházejí dvě exponenciální křivky: jedna klesající a druhá rostoucí. Klesající exponenciála znázorňuje úbytek mateřských jader a rostoucí exponenciála znázorňuje přibývání dceřiných prvků vzniklých z prvků mateřských. [10]

Absorpční zákon

Absorpce (z latinského absorbere – pohltivost) záření. Absorpce ionizujícího záření je ztráta části energie záření při průchodu absorbující látkou. Při využívání ionizujícího v radiologii se jedná o průchod tkání. Zde vyvstává zásadní problém v radioterapii, kterým je dosáhnout maximální absorbované dávky v cílovém objemu. Snahou je co největší šetření okolní zdravé tkáně. Samozřejmě nejideálnější případ by byl, aby absorbovaná dávka pronikla pouze do cílového objemu (nádoru) a měla stejnou intenzitu. Tohoto stavu však není možné dosáhnout, neboť se absorbuje záření ve tkáních stojících v cestě k nádoru a záření taktéž ubývá se vzdáleností a vznikem sekundárního záření. Těmto problémům je nutné věnovat pozornost při plánování léčby zářením. Při tvorbě ozařovacího plánu. [18]

Jaderná záření interagují s prostředím - jeho částice jsou při těchto interakcích pohlcovány, přeměňovány, rozptylovány. Nechť n_0 je počet částic n_0 , který dopadne na rozhraní s danou látkou (tj. pro $x = 0$). Počet n částic pronikajících do vzdálenosti x od rozhraní s danou látkou se zmenšuje s rostoucí tloušťkou x průniku do příslušné látky.

Odvození absorpčního zákona vychází z předpokladu, že pravděpodobnost úbytku částice s původními parametry je během zvoleného intervalu tloušťky pro každou částici konstantní (bez ohledu jak na polohu intervalu vzdálenosti na stupnici tloušťky, tak i na energii částice).

Nechť μ označuje pravděpodobnost úbytku částic v jednotkovém intervalu tloušťky (vzdálenost tumoru od povrchu kůže), nechť dn označuje úbytek částic na tloušťce dx a nechť n je počet částic, které pronikly do tloušťky x (počet částic, které

doletěly k nádoru) vrstvy příslušné látky. Pak lze matematicky cestou identickou cestě odvození rozpadového zákona (i když fyzikální obsah je diametrálně odlišný) získat tvar absorpčního zákona. [10]

Pak lze pravděpodobnost úbytku částic na vzdálenosti dx zapsat:

$$-\frac{dn}{n} = \mu \cdot dx$$

Znaménko mínus znamená úbytek částic s přibývajícím hloubkou. Stanovíme počáteční podmínky. V hloubce $x=0$ je $n = n_0$.

Rovnice absorpčního zákona:

$$n = n_0 \cdot \exp^{-\frac{\ln 2}{a} \cdot x} = n = n_0 \cdot \exp^{-\mu x}$$

a polovrstva (polotloušťka) je tloušťka tkáně, která zeslabí intenzitu záření na $\frac{1}{2}$ původní hodnoty

n_0 počet částic, které dopadly na povrch těla

n počet částic v hloubce x

μ koeficient absorpce = lineární součinitel zeslabení záření (pro zeslabení

gamma/rtg záření je koeficient absorpce roven součtu koeficientů absorpce tří průvodních jevů)

$\mu = \mu_{FJ} + \mu_{CJ} + \mu_{AJ}$ (fotoelektrického jevu, Comptonova rozptylu a anihilačního jevu).

[10]

Nabízí se, že rovnice rozpadového i absorpčního zákona jsou tvarově stejné. Každý ze zákonů však popisuje něco jiného. Absorpční zákon popisuje úbytek intenzity záření v závislosti na hloubce, zatím co rozpadový zákon popisuje radioaktivní přeměnu - vyjadřuje ubývání mateřských jader s časem a jejich přeměnu na prvky dceřiné.

Veličiny a jednotky jaderného záření

Aktivita A zářiče je mírou radioaktivity zářiče (nositele mateřských prvků), je vymezena jako četnost, s níž zářič uvolňuje částice jaderného záření.

$$A = -\frac{dn}{dt} = \lambda n$$

U dlouhodobých radionuklidů lze aktivitu A nahradit počtem přeměn za jednotku času, obecněji jde o součin rozpadové konstanty λ a okamžitého počtu n radioaktivních jader mateřského prvku. Jednotkou aktivity je becquerel (Bq) - aktivita 1 Bq odpovídá u dlouhodobých radionuklidů přeměně jednoho radioaktivního jádra z 1 s. [20]

Intenzita I je energie záření, která projde plošnou jednotkou kolmou ke směru postupu záření za 1 s. Jednotkou intenzity I je $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Měrnou ztrátu intenzity záření lze definovat jako poměr intenzity záření I v dané tloušťce prostředí pod jeho povrchem k počáteční intenzitě záření I_{\max} na povrchu prostředí. [20]

Pohlčená dávka D , expozice (ozáření) X (absorbovaná dávka)

Dávka D , někdy též absorbovaná dávka, je definována jako podíl střední sdělené energie $d\bar{\epsilon}$, předané ionizujícím záření látce v malém prostoru, a hmotnosti této látky dm vztahem $D = d\bar{\epsilon}/dm$. Jednotkou dávky je Gy (gray) $1\text{Gy} = 1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$, dříve se používala jednotka rad, přičemž platí jednoduchý převodní vztah $1\text{rad} = 0,01\text{Gy}$. V názvu veličiny je třeba uvést jmenovitě, k jaké látce se dávka vztahuje. [24]

Dávkový příkon D' , někdy též dávková rychlost, je definován jako podíl přírůstku dávky dD v časovém intervalu dt a tohoto intervalu, tj. vztahem $D' = dD/dt$. Jednotkou dávkového příkonu je $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$, běžněji se používá jednotka $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$. [21]

Dávkový ekvivalent H (biologický ekvivalent) kvantifikuje biologické účinky jaderného záření. Dávkový ekvivalent H závisí nejen na pohlčené dávce D , ale také na bezrozměrných modifikujících faktorech, které charakterizují jednak druh záření z hlediska jeho biologických účinků na člověka, jednak prostorovou distribuci dávky. Jednotkou je sievert (Sv), zvláštní název pro rozměr jednotky je $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Dávkový ekvivalent H v uvažovaném místě ve tkáni je dán součinem dvou veličin

$H = D \cdot Q$, kde D je dávka ve tkáni v daném bodě a Q je jakostní činitel v tomto bodě. Protože se jakostní činitel Q považuje za bezrozměrnou veličinu, je fyzikální rozměr dávky a dávkového ekvivalentu shodný. Jakostní činitel Q je modifikující činitel závažnosti absorbované dávky podle biologické účinnosti částic ionizujícího záření. [21]

Detekce a dozimetrie jaderného záření

Dozimetrie je oblast fyziky zabývající se vlastnostmi ionizujícího záření, veličinami charakterizujícími procesy vzniku a interakce ionizujícího záření s látkou a metodami měření těchto veličin.

V biologických a lékařských vědách se soustředí na interakci ionizujícího záření s živou hmotou a jeho účinky na organismy a uplatňuje se v oboru radiologie (radiodiagnostika a radioterapie).

V technických vědách, lékařství i vojenství se uplatňuje v oblasti ochrany před zářeními – zabývá se monitorováním a usměrňováním rizik pro obyvatelstvo i pracovníky pracující se zdroji záření. [24]

Radiační ochrana se snaží minimalizovat rizika spojená s pobytem člověka na místech nějakým způsobem zasaženým ionizujícím zářením. Jejím úkolem je nalezení a popis zdroje záření, ocenění případné zdravotní újmy a vytvoření pravidel pro pobyt v monitorovaném prostoru nebo pro práci s příslušným zdrojem ionizujícího záření. [24]

Ochrana před zářeními je možná v podstatě třemi způsoby:

1. vzdáleností;
2. omezením doby ozařování;
3. stíněním.

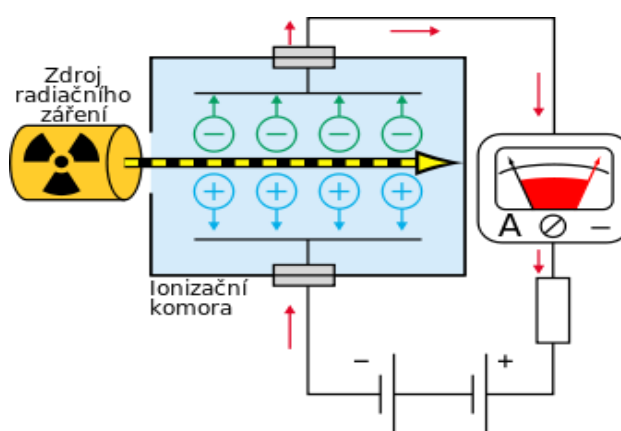
Záření ubývá se vzdáleností od zdroje, a čím kratší dobu jsme záření vystaveni, tím menší dávkový ekvivalent obdržíme. Prostory, kde je nebezpečí záření, musí být označeny varovnou značkou. Osoby zde se pohybující musí být vybaveny osobními dozimetry, které měří získanou dávku, platí zde zákaz kouření a požívání jídla.

V celosvětovém měřítku je bezpečnost jaderné energetiky a využívání radionuklidů sledována a kontrolována na základě mezinárodních dohod, a to Mezinárodní organizací

pro atomovou energii ve Vídni, která je jednou z odborných organizací přidružených k OSN. [16]

Ionizační komůrky, plynové počítače ionizujících částic

Ionizační komora je elektrodový systém sloužící k detekci ionizujícího záření, který může být izolovaný od prostředí, nebo volně umístěný ve vzduchu.



Obr. č. 8. Schéma ionizační komory, dostupné z:
http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Chambre_d%27ionisation_cs.svg

Ionizační komůrky jsou v podstatě plynové kondenzátory, které jsou vystaveny ionizačním účinkům záření. Je-li na desky kondenzátoru vloženo napětí, jsou ionty vzniklé ionizací uváděny elektrickým polem do pohybu, mezi deskami kondenzátoru protéká ionizační proud. Ionizační komůrka se vybíjí a pomocí poklesu napětí lze měřit intenzitu záření a srovnávat aktivitu zářičů. [20]

Další typy počítačů částic jaderných záření

Jiskrový počítač je detektor ionizujícího záření. Obsahuje dvě elektrody s vysokým rozdílem napětí. Při průletu ionizující částice přeskočí jiskra, kterou lze fotografovat a na výstupu jiskrového počítače vznikne napěťový impuls. [26]

Krystalový počítač je detektor ionizujících částic, které při průchodu pevným dielektrikem (obvykle dokonalý krystal CdS, nebo AgCl) vytvářejí volné nosiče náboje.

Ty jsou přitahovány k elektrickým kontaktům s rozdílným potenciálem, které jsou umístěny na povrchu krystalového počítače. [26]

Scintilační počítače jsou přístroje zaznamenávající ionizující částice, podstatnou část tvoří scintilátor, který vysílá při průchodu částic záblesky světelného záření, ty jsou zesilovány fotonásobičem a registrovány.[20,26]

Čerenkovův počítač detekuje částice a měří jejich energii (rychlosti) založené na Čerenkovově záření. Toto optické záření vzniká průchodem nabitě částice izolantem tehdy, jestliže je rychlost částice větší než rychlost světla v izolantu. Nejde o druh brzdného elektromagnetického záření, neboť Čerenkovovo záření vzniká i při rovnoměrném pohybu nabitě částice. [20,26]

Jaderné reakce (transmutace prvků)

Vedle samovolné přeměny přirozeně radioaktivních prvků lze přivodit přeměnu prvků i uměle - přirozené i umělé přeměně prvku se říká jaderná reakce nebo také transmutace prvku.

Přehled typů jaderných reakcí

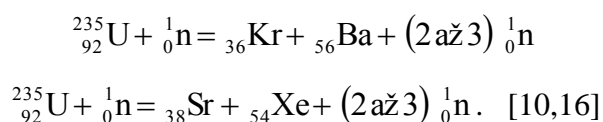
Jaderné reakce vyvolané přirozeným radioaktivním zářením. Mezi historicky nejvýznamnější reakce tohoto typu patří Rutherfordův objev protonu (ostřelování dusíku alfa částicemi s produkcí kyslíku a protonu), Chadwickův objev neutronu (ostřelování berylia alfa částicemi s produkcí uhlíku a neutronu), objev umělé radioaktivity Joliotovými (ostřelování hliníku alfa částicemi se vznikem radioaktivního fosforu a neutronu, radioaktivní fosfor se transmutuje s poločasem rozpadu 3 min 15 s na křemík za vysílání pozitivního beta záření). [10]

Transmutace urychlenými částicemi. Mezi historicky významnou transmutaci (r. 1941) patří ostřelování lithia urychlenými protony se vznikem dvou alfa částic. Kromě ostřelování urychlenými protony je produktivní také ostřelování např. urychlenými deuterony nebo jádru helia. [10,20]

Transmutace prvků neutrony. Neutrony jsou velmi užitečné střely pro transmutaci prvků. Zdrojem ostřelujících neutronů je řada transmutací, které uvolňují při jaderných reakcích rychlé neutrony se značnými energiemi. Ostřelováním neutrony

lze změnit téměř všechny známé prvky na jejich radioizotopy. Kromě pohlcení neutronu bez emise částice je někdy vniknutí neutronu do jádra provázeno emisí alfa částice nebo protonu

Štěpení jader. Pokusy prokázaly, že neutron zpomalený průchodem vrstvou vody nebo parafínu může rozštěpit těžké jádro uranu na dvě přibližně stejně těžká jádra (štěpné trosky). Některé těžké radionuklidy pohlcují pomalé neutrony a rozpadají se na dvě téměř stejně těžké části za současné produkce 2 až 3 pomalých neutronů. Příkladem štěpné reakce je štěpení izotopu uranu 235:



Štěpná řetězová reakce. Řízené uvolňování jaderné energie vychází z použití přírodního uranu, který je směsí tří izotopů s nukleonovými čísly 234, 235 a 238 a s procentuálním zastoupením 0,006 %, 0,7 % a 99,3 %. Při určitém kritickém množství uranu se uplatní štěpná reakce u izotopu uranu 235, jejímž výtěžkem jsou nejen 2 až 3 pomalé neutrony, udržující štěpnou reakci v řetězovém chodu, ale také značný energetický výtěžek. Např. v jaderných elektrárnách se uvolněná jaderná energie přeměňuje na energii elektrickou. Radioaktivním odpadem při štěpné řetězové reakci je výsledek transmutace izotopu uranu 238 na neptunium, které se s poločasem rozpadu 23 min transmutuje na plutonium. Plutonium má však poločas rozpadu kolem 24 000 let. [10]

8.2 Příloha 2

Test znalostí

Testové otázky:

- 1) Mezi makrofyzikální objekty můžeme zařadit:
 - a) molekuly a atomy
 - b) Slunce a planety
 - c) kupy galaxií

- 2) Atomové jádro je vnitřní kladně nabitá část atomu a představuje:
 - a) 99,9% hmotnosti atomu
 - b) 50 % hmotnosti atomu
 - c) 10 % hmotnosti atomu

- 3) Celkovému počtu nukleonů (tedy protonů i neutronů) říkáme číslo nukleonové (hmotnostní) A . Protonové (atomové) číslo Z udává počet protonů. Různé izotopy prvku jsou určeny:
 - a) shodným Z a shodným A
 - b) odlišným Z a shodným A
 - c) shodným Z a odlišným A

- 4) Nositelem působení zbytkové silné interakce, která drží pohromadě atomová jádra jsou:
 - a) gravitony
 - b) intermediální bosony
 - c) gluony

- 5) Radioaktivitu objevil:
 - a) Henri Becquerel

- b) Pierre Curie a Marie Curie-Sklodovská
- c) Ernest Rutherford

6) Proton se skládá:

- a) ze dvou kvarků „d“ a jednoho „u“
- b) ze dvou kvarků „u“ a jednoho „d“
- c) ze dvou kvarků „u“ a dvou „d“

7) Za stabilitu nukleonu je odpovědná interakce:

- a) slabá interakce
- b) fundamentální silná interakce
- c) zbytková silná interakce

8) Polovrstva je taková vrstva absorbatóru (tkáně), která zeslabí intenzitu záření na:

- a) $1/2$
- b) $1/4$
- c) $1/8$

9) Počet mateřských a dceřiných jader je stejný v čase:

- a) $t = T$
- b) $t = 2T$
- c) $t = 4T$

10) Zvětšíme-li vzdálenost od zdroje záření $2x$, intenzita záření klesne:

- a) $1x$
- b) $2x$
- c) $4x$

11) Rychlost protonu je:

- a) větší, než rychlost světla
- b) menší, než rychlost světla
- c) rovna rychlosti světla

12) Pro vznik radioaktivity beta je zásadní interakce:

- a) slabá interakce
 - b) elektromagnetická interakce
 - c) zbytková silná interakce
- 13) Foton je:
- a) částice
 - b) vlna
 - c) někdy částice, někdy vlna
- 14) U označení A_ZX je:
- a) A protonové číslo, Z nukleonové číslo, X označení prvku
 - b) A nukleonové číslo, Z protonové číslo, X označení prvku
 - c) A elektronové číslo, Z nukleonové číslo, X označení prvku
- 15) Záření α je tvořeno:
- a) jádra helia
 - b) atomy helia
 - c) různými izotopy helia
- 16) Jednotkou absorbované dávky je:
- a) sievert
 - b) becquerel
 - c) gray
- 17) Při přeměně beta minus jádro emituje:
- a) pozitron
 - b) elektron
 - c) neutron
- 18) Z hlediska vnitřní kontaminace jsou nejvíc nebezpečné:
- a) částice alfa
 - b) rentgenové záření
 - c) částice gama
- 19) Polovodičové detektory jsou založeny na ionizačních účincích:

- a) v kapalných látkách
- b) v plynných látkách
- c) v pevných látkách

20) Nevýhodou termoluminiscenčních dozimetrů je:

- a) nízká citlivost
- b) citlivost na světlo
- c) možnost elektromagnetickým zářením ovlivnění

21) Poloměr jádra:

- a) je vzdálenost, ve které ještě na nukleon působí jaderné síly
- b) je poloviční "rozměr" vlastního jádra
- c) je vzdálenost, ve které již na nukleon nepůsobí jaderné síly

22) Jaderné reakce jsou změny v atomu:

- a) které se netýkají elektronového obalu, ale pouze jádra
- b) které se týkají elektronového obalu i jádra
- c) které se týkají elektronového obalu, ale nikoli jádra

23) Tvar absorpčního zákona s koeficientem absorpce má tvar:

- a) $n = n_0 \cdot e^{-\lambda t}$
- b) $n = n_0 \cdot e^{\frac{-\ln 2}{T} \cdot t}$
- c) $n = n_0 \cdot e^{-\mu x}$

24) Tvar absorpčního zákona s polovrstvou má tvar:

- a) $n = n_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{a} \cdot x}$
- b) $n = n_0 \cdot e^{\frac{-\ln 2}{T} \cdot t}$
- c) $n = n_0 \cdot e^{-\mu x}$