



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

**Princip komplementarity ve fyzice
a jeho role při přípravě odborníků v oblasti
ochrany obyvatelstva**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

Autor: Bc. František Čech

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

České Budějovice 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „Princip komplementarity ve fyzice a jeho role při přípravě odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích 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 bakalářské/diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské/diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 14. května 2018

.....

Čech František

Poděkování

Chtěl bych poděkovat doc. RNDr. Přemyslu Záškodnému, CSc., vedoucímu mé diplomové práce, za jeho cenné rady, obětavou pomoc a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. Velice si toho vážím.

Princip komplementarity ve fyzice a jeho role při přípravě odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva

Abstrakt

Diplomová práce aplikací logických, empirických a statistických metod vymezila v rámci kvantitativního výzkumu roli principu komplementarity v přípravě odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva. Princip komplementarity charakterizovala diplomová práce obecně (práce s dvojicemi pojmů, oba pojmy jsou potřebné pro vysvětlení podstaty problému, oba pojmy však nelze současně používat, např. pojmy analýza a syntéza). Diplomová práce pak vymezila fyzikální stránku principu komplementarity - vlnově-korpuskulární dualismus, poloha a hybnost, energie a čas. Posléze následovala komparace základů ochrany obyvatelstva se strukturou fyzikální stránky principu komplementarity. Provedená komparace byla na základě teorie kurikulárního procesu přizpůsobena potřebám a možnostem budoucích odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva. Postup je zřejmý ze soustavy cílů, které diplomová práce postupně plnila:

- 1) Popsat systémově obecnou podobu principu komplementarity a jeho fyzikální aplikace z hlediska teorie kurikulárního procesu.
- 2) Vytvořit strukturu systému mimořádných událostí z hlediska vědního oboru ochrana obyvatelstva a zaměřit se na její edukační dimenzi při přípravě odborníků.
- 3) Provést komparaci fyzikální dimenze a mimořádných událostí s obecnou podobou principu komplementarity.

K přenosu poznatků bylo využito teorie kurikulárního procesu. V rámci konceptuálního kurikula bylo podáno vysvětlení propojení mezi obecněji pojatým principem komplementarity a ochranou obyvatelstva. Teorií propojující tyto dvě odlišná odvětví je obecněji pojatý princip komplementarity a pak speciálně Bohrovův princip komplementarity propojující nejen vlnově-korpuskulární dualismus, ale také Heisenbergovy relace neurčitosti. Fyzikální dimenze mimořádných událostí byla

přizpůsobena možnostem a potřebám studentů (zamýšlené kurikulum), sepsána do edukačního textu poskytnutého studentům (projektové kurikulum). Funkčnost edukačního testu byla ověřena edukačním testem, jehož výsledky byly statisticky zpracovány (implementované kurikulum).

Statistické šetření výsledků testu potvrdilo druhou hypotézu této práce: „*Znalosti budoucích odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva budou mít z hlediska role principu komplementarity v rámci jejich přípravy teoretické rozdělení blízké rozdělení normálnímu*“. Potvrzením této hypotézy byla potvrzena správnost a aplikovatelnost kurikulárního procesu, kterou předpokládala první hypotéza této práce: „*Pomocí etap kurikulárního procesu lze vytvořit v rámci kvantitativního výzkumu edukační základ role principu komplementarity*.“

Přínosy práce lze shrnout následujícím způsobem:

- 1) Využití edukačního textu v přípravě odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva (praktický přínos diplomové práce).
- 2) Prohloubení použitelnosti teorie kurikulárního procesu v dosud nezkoumané oblasti ochrany obyvatelstva (prohloubení teorie kurikulárního procesu).
- 3) Vymezení vazby fyzikální části principu komplementarity na obecnou podobu tohoto principu (teoretický přínos diplomové práce).

Klíčová slova

Princip komplementarity; Heisenbergovy relace neurčitosti; vlnově-korpuskulární dualismus; teorie kurikulárního procesu; mimořádné události; blesky; jaderné havárie

Complementarity principle in Physics and its role at experts preparation in the area of population protection

Abstract

This diploma thesis on the application of logical, empirical and statistical methods defined the role of the complementarity principle in the preparation of experts in the field of the protection of population in the framework of a quantitative research. The complementarity principle is characterized in the thesis in general (working with two expressions, both of them are necessary to explain the nature of the problem but cannot be used simultaneously, e.g. expressions “analysis” and “synthesis”). The diploma thesis then defined the physical aspect of the complementarity principle – the wave-corpuseular dualism, the position and the momentum, the energy and the time. The comparison of the basics of the protection of population with the structure of the physical aspect of the complementarity principle followed. The performed comparison was adjusted to the needs and possibilities of future experts in the field of the protection of population on the basis of the theory of the curriculum process. The steps are clear from the set of objectives which were fulfilled gradually in the thesis:

- 1) To systematically describe the general form of the complementarity principle and its physical application from the point of view of the theory of the curriculum process.
- 2) To create a structure of the system of emergencies from the point of view of a scientific field of the protection of population and to focus on its educational aspect for the preparation of experts.
- 3) To perform the comparison of the physical aspect and emergencies with the general form of the complementarity principle.

To transfer the findings, a theory of curriculum process was used. The link between a more generally approached complementarity principle and the protection of population was explained in the framework of a conceptual curriculum. The theory

connecting these two different fields is the more generally approached complementarity principle and especially Bohr's complementarity principle linking not only the wave-corpuseular dualism but also Heisenberg's uncertainty principle. The physical aspect of emergencies was adjusted to the possibilities and needs of students (the intended curriculum) and written down in an educational text which was provided to students (the project curriculum). The practicality of the educational test was verified by an educational test the results of which were statistically processed (implemented curriculum).

The statistical analysis of the test results confirmed the second hypothesis of this work. *"The knowledge of future experts in the field of the protection of population will have, from the point of view of the role of the complementarity principle in their preparation, a theoretical division which will be close to the normal division."* By confirming this hypothesis, the correctness and applicability of the curriculum process were confirmed as it was assumed by the first hypothesis: *"Using the stages of a curriculum process, an educational basis of the role of the complementarity principle can be created within a quantitative research."*

The contributions of this work can be summarized by following points:

- 1) The use of an educational text in the preparation of experts in the field of the protection of population (a practical contribution of this diploma thesis).
- 2) The improvement of the applicability of the theory of the curriculum process in the field of the protection of population which has not been researched so far (the improvement of the theory of the curriculum process).
- 3) The definition of the link of the physical aspect of the complementarity principle to the general form of this principle (the theoretical contribution of this diploma thesis).

Keywords

Complementarity principle; Heisenberg's uncertainty principle; wave-corpuseular dualism; theory of curriculum process; emergencies; lightnings; nuclear accidents

Obsah

1	Teoretická část	11
1.1	Teorie kurikulárního procesu	11
1.2	Princip komplementarity	13
1.3	Princip neurčitosti	15
1.3.1	Relace neurčitosti polohy a hybnosti	15
1.3.2	Relace neurčitosti energie a času	20
1.4	Struktura mimořádných událostí	21
1.4.1	Mimořádné události spojené s blesky	25
1.4.2	Jaderné havárie	28
2	Cíl práce, hypotézy	47
2.1	Cíle práce	47
2.2	Hypotézy	47
3	Operacionalizace pojmů použitých v cílech práce a hypotézách	48
4	Metodika	49
5	Výsledky	53
5.1	Konceptuální kurikulum	53
5.2	Zamýšlené kurikulum	53
5.3	Projektové kurikulum	53
5.4	Implementované kurikulum	54
6	Diskuze	85
7	Závěr	90
8	Seznam literatury	92
9	Seznam příloh a obrázků	100
10	Seznam zkratk	127

Úvod

Diplomová práce bude vycházet z principů kvantitativního výzkumu a z postupů, které jsou spojeny s kooperativní aplikací metod logických, empirických a metod šetření datových souborů. Je zřejmé, že z hlediska metodologické triangulace (stanovení proporčnosti kvantitativního a kvalitativního výzkumu) bude mít kvantitativní výzkum výraznou převahu.

V oblasti aplikace metod logických a empirických bude použita aplikabilita teorie kurikulárního procesu (konceptuální kurikulum, zamýšlené kurikulum, projektové kurikulum, implementované kurikulum-1, implementované kurikulum-2, dosažené kurikulum). V rámci konceptuálního kurikula bude zkoumáno propojení mezi obecněji pojatým principem komplementarity (především z hlediska fyziky a také jeho filozofických důsledků) a ochranou obyvatelstva. Teorii propojující tyto dvě odlišná odvětví bude obecněji pojatý princip komplementarity (platí nejen ve fyzice - mezi komplementární dvojice pojmů patří např. analýza, syntéza nebo věda, umění) a pak speciálně Bohrovův princip komplementarity (propojující vlnově-korpuskulární dualismus a později také Heisenbergovy relace neurčitosti). Fyzikální dimenze mimořádných událostí (vlnově-korpuskulární dualismus, Heisenbergovy relace neurčitosti) bude přizpůsobena možnostem a potřebám studentů nefyzikálního oboru, kterým je ochrana obyvatelstva (zamýšlené kurikulum). Vytvořené zamýšlené kurikulum bude považováno za optimální, jestliže statistické šetření povede k výsledkům vyjádřených normálním rozdělením. V rámci plnění cílů diplomové práce bude kladen důraz na vytvoření projektového kurikula (edukační text) a aplikaci implementovaného kurikula-1 a implementovaného kurikula-2 (edukační test a jeho aplikace).

V rámci metod šetření datových souborů tvořených znalostmi studentů oboru ochrana obyvatelstva a oborů příbuzných (jejichž absolventy lze nazvat odborníky v oblasti ochrany obyvatelstva) budou použity metody deskriptivní statistiky (formulace statistického šetření, škálování, měření, elementární statistické zpracování) a metody statistiky matematické (především neparametrické testování).

Vedle popsaných cílů diplomové práce budou ověřovány následující dvě hypotézy:

„Znalosti budoucích odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva budou mít z hlediska role principu komplementarity v rámci jejich přípravy teoretické rozdělení blízké normálnímu“.

„Pomocí etap kurikulárního procesu lze vytvořit v rámci kvantitativního výzkumu edukační základ role principu komplementarity v oblasti ochrany obyvatelstva“.

Diplomová práce bude respektovat také obecnější platnost principu komplementarity. Nejen dvojice pojmů, které jsou současně potřebné, ale nejsou současně aplikovatelné ve fyzice, ale také obdobné dvojice pojmů z hlediska širší, nefyzikální platnosti principu komplementarity (např. dvojice pojmů analýza, syntéza nebo věda, umění).

1 Teoretická část

1.1 *Teorie kurikulárního procesu*

Pod pojmem kurikulum se rozumí obsah edukace, vzdělávání. (Průcha, 2013) Posloupnost transformačně na sebe navazujících variantních forem kurikula se nazývá kurikulární proces. Jednoduše lze kurikulární proces charakterizovat jako proces přenosu informací, poznatků z vědecké sféry do sféry edukační. Vhodnost a aplikabilita teorie kurikulárního procesu byla přijata i zahraniční vědeckou komunitou o čemž svědčí impaktovaná publikace (Záškodný, 2012).

Kurikulární proces využívá transformací edukační komunikace, na jejichž základě vznikají jednotlivé variantní formy kurikula (konceptuální kurikulum, zamýšlené kurikulum, projektové kurikulum, implementované kurikulum-1, implementované kurikulum-2 a dosažené kurikulum). (Záškodný, 2009)

Souvislý proces předávání a zprostředkování výsledků a metod fyzikálního poznání do mysli jedinců, kteří se na vzniku fyzikálního poznatku nepodíleli, se nazývá edukační komunikace fyziky. Edukační komunikace fyziky zahrnuje jak vzdělávání a výuku na všech úrovních školské soustavy tak i celoživotní vzdělávání v různých institucích a přenos poznatků fyzikálních věd směrem do celé společnosti. (Záškodný, 2009)

Během edukační komunikace prodělává obsah edukace, fyzikální poznatek, několik významných transformací (označované T_1 až T_5), prostřednictvím nichž je přizpůsoben širší společnosti (učitelům, studentům apod.). Fyzikální poznatek je transformován z vědecké úrovně, která je pro mnohé obtížná, těžko srozumitelná, na úroveň jim srozumitelnou. Kromě první transformace je vždy vstupem transformace výstup z transformace předchozí. (Záškodný, 2009)

Přehled transformací didaktické komunikace fyziky (Záškodný, 2009):

- **Transformace T₁ (Komunikační transformace):**
 - Vstup: Vědecký systém fyziky
 - Výstup: Sdělitelný vědecký systém fyziky
- **Transformace T₂ (Obsahová transformace):**
 - Vstup: Sdělitelný vědecký systém fyziky
 - Výstup: Edukační systém fyziky a jeho učivo
- **Transformace T₃ (Kurikulární transformace):**
 - Vstup: Edukační systém fyziky a jeho učivo
 - Výstup: Výukový projekt fyziky a jeho učebnice
- **Transformace T₄ (Edukační transformace):**
 - Vstup: Výukový projekt fyziky a jeho učebnice
 - Výstup: Výsledky výuky fyziky
- **Transformace T₅ (Aplikační transformace):**
 - Vstup: Výsledky výuky fyziky
 - Výstup: Aplikovatelné výsledky výuky fyziky

Variantní formy kurikula (Záškodný, 2009):

- **Konceptuální kurikulum** (conceptual curriculum) lze spojit s výsledkem transformace T₁. Konceptuálním kurikulem se rozumí koncepce obsahu vzdělávání.
- **Zamýšlené kurikulum** (intended curriculum) odpovídá plánovaným cílům a obsahu vzdělávání s explicitním definováním v kurikulárních dokumentech

jako jsou učební osnovy a učebnice. Tuto formu lze spojit s výsledkem transformace T₂.

- **Projektové a implementované kurikulum-1** (projected curriculum and implemented curriculum-1) jsou výsledky transformace T₃. Realizací projektového kurikula jsou dobře psané učebnice či edukační texty. Projektové kurikulum lze rozšířit o novou variantní formu kurikula, spojenou s přípravou učitele na výuku, nazývanou „implementované kurikulum-1“ (nachází se v mysli vyučujícího).
- **Implementované kurikulum-2** (implemented curriculum-2), výsledek transformace T₄, odpovídá obsahu vzdělávání, který byl percipovaný subjekty edukace neboli učivo osvojené subjekty edukace.
- **Dosažené kurikulum** (attained curriculum), výsledek transformace T₅ jako obsah vzdělávání fungující na straně subjektů edukace a modifikovaný na základě jejich vlastních zkušeností a zájmů.

1.2 *Princip komplementarity*

Komplementaritu (z latinského slova *complementum*, neboli doplněk, doplnění) lze charakterizovat jako „nový styl či rámec myšlení“ jehož představitelem byl Niels Henrik David Bohr, který je znám především jako vědec, strůjce Bohrova modelu atomu, méně už jako filozof. Slovo komplementarita bylo Bohrem poprvé použito v jeho třístránkovém fragmentárním textu, rukopisu, z července roku 1927. (Grygar a Čermák, ©2017). Vznik komplementárního myšlení M. Jammer mapuje do roku 1925 a K. Stolzenburg dokonce ještě o rok dříve. (Grygar, 2014)

Bohr nikdy ve spojitosti s komplementaritou nevedl, že jde o princip, jelikož komplementarita není principem po vzoru logiky či matematiky, ale je jakýmsi rámcem filozofického myšlení. (Grygar a Čermák, ©2017) Bohr se zpočátku bránil Einsteinovu duálnímu charakteru světla, doslova odmítal myšlenku „hmotné vlny“. Postupem času byl však o duálním charakteru přesvědčen, především díky práci E. Schrödingera, rakouského fyzika, který atomární dění, popisoval z pohledu vlnového, a práci

W. Heisenberga, německého fyzika, který na tentýž problém pohlížel z hlediska částic, korpuskulí. Vzniklé matematické popisy jednoho a toho samého problému vznikající nezávisle na sobě, založené na neslučitelných fyzikálních představách, byly správné, nepostradatelné a neodporující si matematicky, avšak příliš jednostranné a neúplné. (Grygar, 2014) Lze tedy vlastnosti (chování) dané entity popsat jak vlnově tak korpuskulárně, avšak ne oběma způsoby zároveň a nelze říci, že zkoumaná entita je vlna nebo částice = idea komplementarity. (McGrath, 2003; Grygar 2011)

Bohrovu ideu komplementarity lze jednoduše vysvětlit prostřednictvím obrazu dánského filozofa a psychologa, Bohrova nevlastního bratrance, Edgara Rubina, s názvem „Rubinova váza“ (Obrázek 1), na kterém lze vidět siluetu vázy (bílá plocha) nebo dva profily lidské hlavy dívající se na sebe. V jeden okamžik je možné vidět a vnímat pouze jedno ze zmiňovaného. Ani jedno, obličeje či váza spolu nijak nesouvisí, nemají spolu nic společného, jsou zcela odlišnými pojmy, stejně tak jako vlna a částice. Smysluplně se abstraktně doplňují pouze díky panu Edgaru Rubinovi. (Brabec a Bartůněk, 2017)



Obrázek 1 Rubinova váza

Zdroj: (Grygar a Čermák, ©2017)

Stejně tak, jako původně neslučitelné pojmy váza a obličeje byly původně ve fyzice pojmy *vlna* a *částice*, které se začaly smysluplně doplňovat, komplementovat, až ve

staré kvantové teorii v rámci vlnově-korpuskulárního dualismu, dle které má foton vlnové i částicové vlastnosti, ale není ani vlnou ani částicí. (Brabec a Bartůněk, 2017)

Jako příklad vlnově-korpuskulárního dualismu fotonu lze uvést Comptonův jev (rozptyl) a fotoelektrický jev. U Comptonova jevu (respektive při jeho vysvětlení) je foton uvažován jako korpuskule, neboli částice, která má svou hmotnost a hybnost, a mohl se tak srazit s elektronem slabě vázaným k atomu. K vysvětlení fotoelektrického jevu je foton naopak uvažován jako vlna, „druh energie“ předané elektronu, jejímž prostřednictvím (absorpcí) se elektron dokáže z atomu uvolnit. (Záškodný, 2005)

1.3 Princip neurčitosti

Principem neurčitosti nebo také relací neurčitosti se zabýval německý teoretický fyzik, Werner Karl Heisenberg, kterému za jeho práce (výše zmíněná maticová mechanika a princip neurčitosti) byla roku 1932 udělena Nobelova cena. (Bureš. ©2002)

Heisenbergův princip neurčitosti, lze rozdělit na dvě dílčí oblasti. Za první relace neurčitosti polohy a hybnosti a za další relace neurčitosti energie a času. (Grygar 2011)

1.3.1 Relace neurčitosti polohy a hybnosti

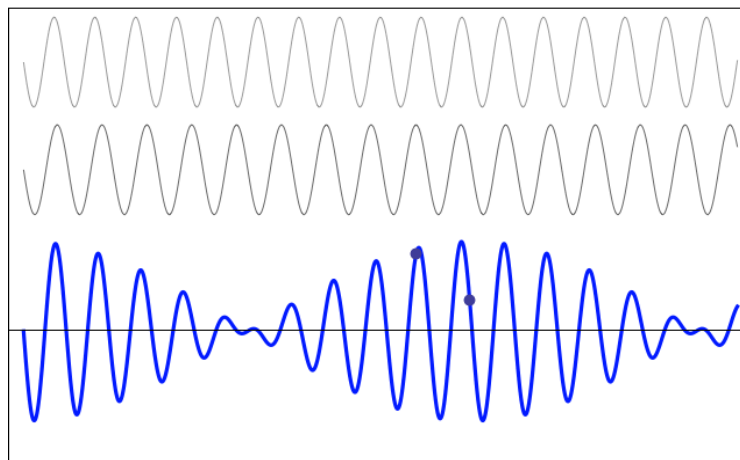
Princip neurčitosti polohy a hybnosti lze odvodit dvěma způsoby. Jeden způsob zakládá úvahy na *vlnové povaze částic* a druhý na *částicové povaze vln*. (Beiser, 1975)

➤ Odvození založené na vlnové povaze částic

Tato teorie k nalezení vztahu měření mezi neurčitostí polohy Δx a neurčitostí hybnosti Δp při jejich současném měření je založená na povaze vlnových klubek. Výhodou této teorie je, že obojí neurčitost je vnitřní, je objektivní charakteristikou hmoty a není tedy způsobena chybou na straně pozorovatele nebo přístroje. Odvození vychází z předpokladu vlnového klubka složeného ze dvou de Broglieho vln. (Beiser, 1975)

Vlnová klubka vznikají při „rázech“ tj. jsou-li generovány současně dvě vlny se shodnou amplitudou a velmi málo rozdílnou frekvencí (frekvence musí být velmi

blízké). Výsledná frekvence je rovna aritmetickému průměru frekvencí obou vln (Obrázek 2).



Obrázek 2 Vznik vlnového klubka, ráz

Zdroj: (Russell, 1996)

První de Broglieho vlna: Z obecného matematického vzorce pro vlnu, s vyjádřením y jako funkce x a zároveň t , s aplikací de Broglieho vlnové rychlosti $w = \lambda \cdot \nu$.

$$y_1 = A \cdot \cos(2\pi \cdot \nu \cdot t)$$

$$y_1 = A \cos\left(2\pi \cdot \nu \cdot \left(t - \frac{x}{w}\right)\right)$$

$$y_1 = A \cos\left(2\pi \cdot \left(\nu \cdot t - \frac{\nu \cdot x}{w}\right)\right)$$

$$y_1 = A \cos\left(2\pi \cdot \left(\nu \cdot t - \frac{\nu \cdot x}{\nu \cdot \lambda}\right)\right)$$

$$y_1 = A \cos\left(2\pi \cdot \left(\nu \cdot t - \frac{\nu \cdot x}{\nu \cdot \lambda}\right)\right)$$

$$y_1 = A \cos\left(2\pi \cdot \left(\nu \cdot t - \frac{x}{\lambda}\right)\right)$$

$$y_1 = A \cos\left(2\pi \cdot \nu \cdot t - \frac{2\pi \cdot x}{\lambda}\right)$$

$$y_1 = A \cos(\omega \cdot t - k \cdot x)$$

Druhá de Broglieho vlna (shodná amplituda, rozdílné frekvence, tedy i vlnová čísla):

$$y_2 = A \cos((\omega + \Delta\omega) \cdot t - (k + \Delta k) \cdot x)$$

Výsledná výchylka y je dána součtem výchylky y_1 a y_2 . Součet se provede pomocí matematického vzorce ke sčítání cosinů dvou funkcí.

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cdot \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

$$\alpha = \omega t - kx$$

$$\beta = (\omega + \Delta\omega) \cdot t - (k + \Delta k) \cdot x = \omega t + \Delta\omega \cdot t - kx - \Delta k \cdot x$$

$$\alpha + \beta = \omega t - kx + \omega t + \Delta\omega \cdot t - kx - \Delta k \cdot x$$

$$\alpha + \beta = 2 \cdot \omega t + \Delta\omega \cdot t - 2kx - \Delta k \cdot x$$

$$\alpha + \beta = (2\omega + \Delta\omega) \cdot t - (2k - \Delta k) \cdot x$$

$$\alpha - \beta = \omega t - kx - (\omega t + \Delta\omega \cdot t - kx - \Delta k \cdot x)$$

$$\alpha - \beta = \omega t - kx - \omega t - \Delta\omega \cdot t + kx + \Delta k \cdot x$$

$$\alpha - \beta = -\Delta\omega \cdot t + \Delta k \cdot x = \Delta\omega \cdot t - \Delta k \cdot x$$

Jak již bylo uvedeno, ke vzniku rázu, vlnového klubka si musí být frekvence velice blízké, $\Delta\omega$ a Δk jsou ve výsledku vzorce $\alpha + \beta$ v porovnání s 2ω a $2k$ tak malé, že je lze zanedbat. Výsledný tvar výrazu pro vlnové klubko je:

$$y = 2A \cos(\omega t - kx) \cos\left(\frac{\Delta\omega \cdot t}{2} - \frac{\Delta k \cdot x}{2}\right).$$

Z výsledného výrazu je patrné vlnové číslo modulace $k_m = \frac{\Delta k}{2}$ a jelikož obecný vztah

mezi vlnovou délkou modulace a jejím vlnovým číslem je $\lambda_m = \frac{2\pi}{k_m}$, pak $\lambda_m = \frac{4\pi}{\Delta k}$. Lze

předpokládat, že šířka každého vlnového klubka je rovna polovině vlnové délky modulace, lze pak předpokládat i to, že její velikost je stejného řádu jako neurčitost

polohy Δx tj. $\Delta x \approx \frac{\lambda_m}{2} \Rightarrow \Delta x = \frac{2\pi}{\Delta k} \Rightarrow \Delta k = \frac{2\pi}{\Delta x}$.

De Broglieho vlnová délka částice $\lambda = \frac{h}{p}$. Této délce odpovídá vlnové číslo

$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi \cdot p}{h}$. z uvedeného vyplývá, že neurčitost vlnového čísla de Broglieho vln

má za následek neurčitost hybnosti $\Delta p = \frac{h \cdot \Delta k}{2\pi}$ po dosazení za $\Delta k = \frac{2\pi}{\Delta x}$ a drobné

úpravě (úprava složeného zlomku) vzniká vztah $\Delta x \cdot \Delta p \geq h$, který už poměrně správně

vyjadřuje relaci neurčitosti polohy a hybnosti, i když je zatížen drobnými chybami - dosud byly uvažovány jen dva superponované vlnové sledy, které mají za následek několik vlnových klubek, nikoliv jen jedno. Jedno jediné vlnové klubko lze získat pouze nekonečným počtem vlnových sledů s co nejmenším rozdílem kmitočtů. Fourierovou analýzou bylo zjištěno, že šířka vlnového klubka Δx souvisí s rozsahem vlnového čísla

Δk vztahem $\Delta x \approx \frac{1}{\Delta k}$. Dosazením Δk z tohoto vztahu do vztahu $\Delta p = \frac{h \cdot \Delta k}{2\pi}$ je

dosáhnuto reálnějšího vztahu $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$. Jelikož se v kvantové mechanice často

vyskytuje zlomek $\frac{h}{2\pi}$, bylo zavedeno pro tento zlomek označení \hbar , nazývané jako

redukováná či modifikovaná Planckova konstanta nebo také Planckova-Diracova konstanta. S užitím Planckovy-Diracovy konstanty lze psát Heisenbergovu relaci neurčitosti ve tvaru $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$. (Beiser, 1975)

➤ Odvození založené na částicové povaze vln

Tato teorie uvažuje, že ke změření polohy libovolné částice je zapotřebí, aby její velikost byla alespoň jedna polovina vlnové délky $\frac{\lambda}{2}$ záření, které má na částici dopadnout. Je-li částice menší než polovina vlnové délky záření, nedojde k dopadu záření na částici tedy ani k odrazu vlny záření zpět do detektoru (oko, objektiv atd.). To má za následek, že předmět (částici) není možné rozeznat. Přesnost měření polohy Δx neboli neurčitost polohy je na základě velikosti částice $\Delta x \geq \frac{\lambda}{2}$.

Dopadem záření (množství fotonů) na částici je jí předána část hybnosti ve směru, v němž záření dopadlo. K nejmenšímu předání hybnosti dojde tehdy, dopadne-li na částici pouze jeden foton. (Reichl a Všetická, 2008a)

Velikost hybnosti, kterou foton záření zkoumané částici předá, se určí pomocí vzorců Einsteinovi teorie relativity $E = m \cdot c^2$, hybnosti tělesa $p = m \cdot c$ a vlnové délky $\lambda = \frac{c}{f}$.

Nejprve je zapotřebí sloučit vzorce $E = m \cdot c^2$, $p = m \cdot c$ a ze vzniklého vztahu vyjádřit hybnost $E = p \cdot c \Rightarrow p = \frac{E}{c}$. K aplikaci vzniklého vzorce na foton je nutné si uvědomit

vlastnosti fotonu (vlny), především, foton nemá klidovou hmotnost. Za energii fotonu pak bude dosazeno $E = h \cdot \nu$, za rychlost světla ze vzorce $\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow c = \lambda \cdot f$. Vzniklý

vztah pro hybnost má tvar $p = \frac{h \cdot \nu}{\lambda \cdot f}$. Jelikož se však světlo šíří prostřednictvím fotonů,

lze v uvedeném vztahu krátit frekvence (ν , f) a získat tak konečný vztah hybnosti $p = \frac{h}{\lambda}$.

Tím, že foton předá část své hybnosti částici, která byla na počátku v klidu, hybnost částice se změní o $\Delta p = \frac{h}{\lambda}$. Tím vzniká vztah $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{h}{\lambda} \Rightarrow \Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2}$. Při

přesném odvození a užití základních předpokladů kvantové teorie se ukazuje, že spodní mezí uvedeného součinu je $\frac{h}{4\pi}$. Heisenbergovu relaci neurčitosti lze pomocí

redukované Planckovy konstanty zapisovat ve tvaru: $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$. (Reichl a Všetická,

2008a)

První Heisenbergova relace neurčitosti říká, že čím přesněji je určena poloha, tím méně přesně je určena hybnost, a naopak. (Grygar, 2011)

K oběma metodám odvození:

Ze vzniklých vztahů pro relaci neurčitosti polohy a hybnosti je patrné, že je v souladu s myšlenkou komplementarity při výkladu kvantové teorie - znalost místa, kde se částice vyskytuje, je komplementární ke znalosti její rychlosti či hybnosti. (Heisenberg, 2000)

Ačkoliv u obou odvození vyšly „rozdílné“ výsledky, lze je považovat za shodné. Svět kvantové fyziky je nekonečně malý, platí v něm odlišná, mnohdy i pro lidstvo nepochopitelná pravidla, logika. Menší nepřesnost (odlišnost) výsledků je taktéž dána metodou odvození a úvahami během odvozování. Důležitým závěrem vyplývajícím z obou odvození je, že vždy vyjde malé, ale nenulové číslo, přesněji číslo větší nebo rovné polovině Planckovy-Diracovy konstanty. Odtud vyplývá, že nikdy nelze znát současně přesnou polohu částice a její rychlost (případně i směr).

1.3.2 Relace neurčitosti energie a času

Je-li u nějakého jevu (činnosti), měřena frekvence, je měřen počet výskytů (opakování) v časovém intervalu, tj. $f = \frac{n}{\Delta t}$. Měření probíhá s přesností $\Delta n = 1$, pak platí $\Delta f \geq \frac{1}{\Delta t}$.

V případě měření energie $E = h \cdot f$ je přesnost měření $\Delta E = h \cdot \Delta f \geq \frac{h}{\Delta t} \Rightarrow \Delta E \cdot \Delta t \geq h$.

Tato relace platí opět obecně, při jejím přesnějším odvození vyjde dolní mez chyby

$\frac{h}{4\pi} = \frac{\hbar}{2}$. Heisenbergovu druhou relaci neurčitosti pak lze psát ve tvaru: $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$.

(Reichl a Všetická, 2008b)

1.4 *Struktura mimořádných událostí*

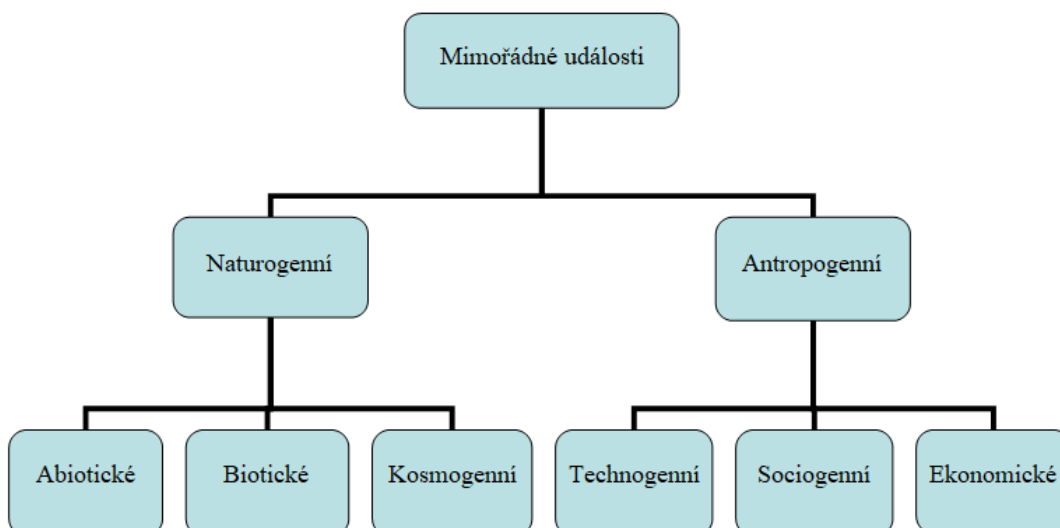
Mimořádné události lze charakterizovat jako určité neplánované výkyvy od normálu. Jde o události způsobující narušení stability systému s potenciální možností ohrozit jeho bezpečnost či stabilitu. (Líbal et al., 2017) Ve vztahu k ochraně obyvatelstva je mimořádná událost definována v zákoně č. 239/2000 Sb., zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Pod tímto pojmem se rozumí škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací.

Záchranné práce jsou činnosti, jejichž cílem je odvrácení nebo alespoň omezení bezprostředního působení rizik vzniklých při mimořádné události ve vztahu k ohrožení života, zdraví, majetku či životního prostředí, a vedoucí k přerušení jejich příčin. Příkladem může být hašení požáru rodinného domu, stavba protipovodňových hrází, vyproštění zraněných z vraků při autonehodě atd. (Skalská et al., 2010)

Likvidační práce jsou činnosti k odvrácení následků, které způsobila mimořádná událost. Příkladem takových prací je úklid místa požáru, odvoz sutí, odvoz ohořelých nebo zdevastovaných konstrukcí, odtažení vraků z místa dopravní nehody atd. Hranice mezi záchrannými a likvidačními pracemi může být někdy velice obtížně rozpoznatelná. (Skalská et al., 2010)

Na likvidační práce navazují práce asanační směřující k obnově životního prostředí, společenského života a materiálních hodnot. (Skalská et al., 2010)

Mimořádné události se zpravidla, dělí dle příčiny jejich vzniku, jak znázorňuje schéma (Obrázek 3).



Obrázek 3 Základní rozdělení mimořádných událostí

Zdroj: (Líbal et al., 2017)

Přírodní mimořádné události lze rozdělit také dle rozsahu na mimořádné události lokálního či celosvětového charakteru. Mimořádné události způsobené činností člověka mohou být také dvojího typu, způsobené úmyslnou činností člověka anebo neúmyslně. Kromě rozdělení mimořádných událostí na naturogenní a antropogenní je možné připojit ještě třetí skupinu tzv. smíšené příčiny. (Kříž, 2016)

Výčet možných mimořádných událostí (Kříž, 2016; Líbal et al., 2017):

➤ Naturogenní:

- požár
- záplavy a povodně
- vichřice a silné větrné poryvy
- krupobití a přivalové deště
- biologické pohromy (epidemie, pandemie, enzootie, epifytie, vliv škůdců apod.)
- teplotní inverze

- sněhové vánice a kalamity
 - svahové pohyby
 - únik plynů ze zemského nitra
 - dlouhodobé a silné mrazy, mrznoucí déšť, náledí, námrazy, ledovky
 - vedra a sucha
 - bouřky
 - půdní eroze
 - zemětřesení
 - pád kosmického tělesa na zemský povrch
 - propad zemských dutin
 - posun dna pod vodní hladinou
- Antropogenní:
- požár (způsobený činností člověka)
 - havárie:
 - v chemickém objektu
 - jaderně energetického zařízení
 - v dopravě
 - výbuchy plynů a výbušných směsí
 - mechanické poruchy technologických procesů a staveb
 - únik ropných produktů
 - poruchy zásobování vodou, elektřinou, plynem, teplem a palivy

- mezistátní konflikty
- terorismus
- násilné sociální pohyby
- emigrační vlny

Mimořádných událostí je možné nalézt mnohem více. V rámci diplomové práce byl uveden jejich stručný výčet a pro názornost uvedeno několik sociogenních mimořádných událostí, jelikož s fyzikou nemají nic společného. Z hlediska fyziky se ukázaly být důležité mimořádné události přírodní a mimořádné události spojené s činností člověka. V rámci diplomové práce byla provedena analýza neurogenních a antropogenních mimořádných událostí. Byly hledány mimořádné události se vztahem k výskytu fotonů, či elektronů, konkrétně ve vazbě na zmiňovaný vlnově-korpuskulární dualismus.

Z analýzy vyplynuly jako důležité mimořádné události spojené s:

a) Blesky

Jev způsobený přírodou, jeho výskyt nelze ovlivnit, má za následky především požáry (definice z vyhlášky č. 246/2001 Sb., o požární prevenci: *„Požár je každé nežádoucí hoření, při kterém došlo k usmrcení nebo zranění osob nebo zvířat, ke škodám na materiálních hodnotách nebo životním prostředí, nebo byly nežádoucím hořením ohroženy.“* Může dojít i k přímému zasažení člověka bleskem, to se však vyskytuje zřídka.

b) Jaderné havárie

Převážně způsobené činností člověka, pochybením lidského faktoru, nebo technologickými, technickými nedostatky - selháními. Mají za následek úmrtí osob, poškození jejich zdraví a majetku, poškození životního prostředí.

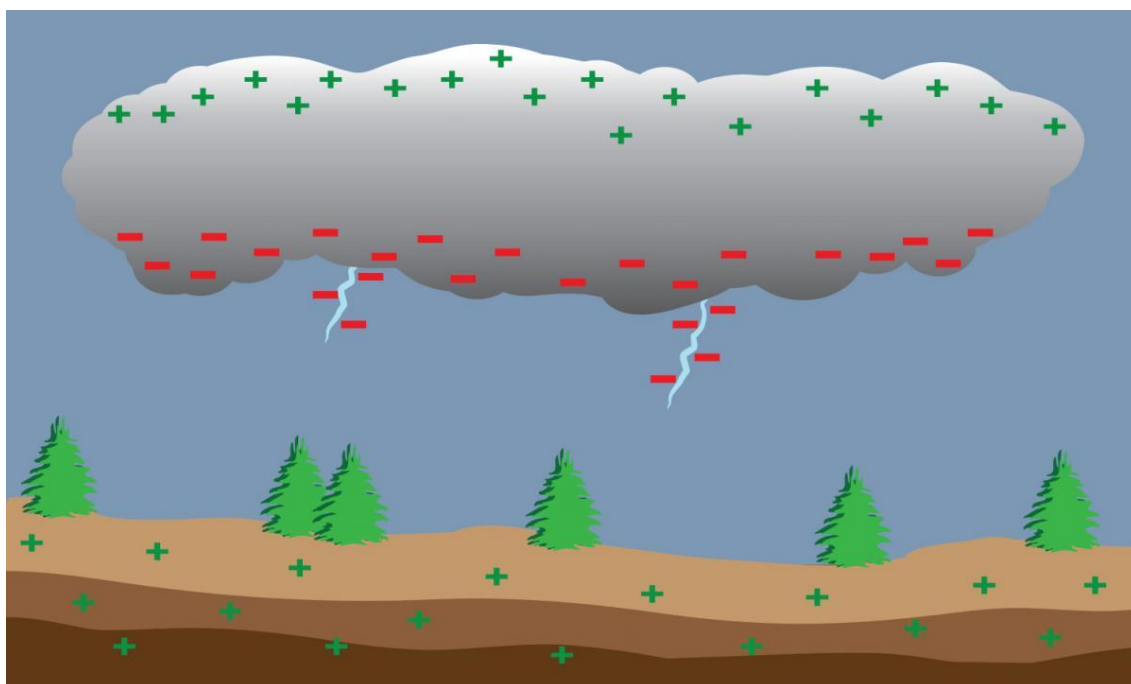
1.4.1 *Mimořádné události spojené s blesky*

1.4.1.1 *Vznik blesku*

Blesk je silný elektrostatický výboj, který je doprovázený emisí viditelného světla modrobílé barvy. Blesk vzniká v tzv. "Cumulonimbu", což je bouřkový mrak značných rozměrů, především na výšku. Bouřkový mrak je jakýmsi dipólem, uvnitř něho dochází k oddělení nábojů, horní část mraku je plná kladně nabitých částic (krystalky) a spodní část mraku, která je blíže zemi, je plna záporně nabitých částic (kroupy a vodní kapky). Mechanismus vzniku separace nábojů uvnitř mraku nebyla dosud zcela objasněna. Horní část mraku dosahuje výšky až 17 km, spodní část je od zemského povrchu vzdálena od několika set metrů až několik kilometrů. (Rakov a Uman, 2006)

Vznik blesku - Cumulonimbus pohybující se nad povrchem země působí na zemi svojí spodní záporně nabitou částí a odpuzuje veškeré záporně nabitě částice, které se pod ním na zemském povrchu nacházejí (stejně jako se odpuzují dva shodné póly magnetu). Pod bouřkovým mrakem tedy vznikne plocha (skvrna), která obsahuje pouze kladně nabitě částice (Obrázek 4). Je-li mezi zemí a mrakem velký rozdíl potenciálů tj. napětí tak vysoké, že překoná odpor vzduchu, kladně nabitá zem a záporně nabitý spodek mraku na sebe působí velkými přitažlivými silami, chtějí se sebe „dotknout“, a tak si navzájem vysílají naproti „chapadla“. Z mraku se k zemi skokovitě vytvářejí rozvětvené kanálky plné záporných částic. Je-li na zemi, vyvýšená vodivá část jako například vysoká tyč, strom, komín apod. dojde od těchto objektů taktéž ke vzniku kanálků plných kladných částic (**kladný kanál** s maximální délkou až 50m). Dojde-li k jejich spojení, vznikne **vodivý kanál**, uzavře se elektrický obvod a část záporného náboje z mraku se rychle přeneseme směrem k zemi. Tento jev se nazývá **vedoucí (hlavní) výboj**. Následně po vedoucím výboji dojde ke **zpětnému výboji (blesk)**, při němž se přeneseme kladný náboj ze země směrem vzhůru, k mraku, rychlostí jedné až pěti desetin rychlosti světla. Zpětný výboj ohřeje kanál blesku až na 30 000 stupňů Celsia (pro porovnání - teplota na povrchu slunce se uvádí okolo 5800 Kelvinů tj. 5527 stupňů Celsia). Ohřáté plazma, ionizovaný plyn (složený z iontů, elektronů, případně i neutrálních atomů a molekul), má pět krát vyšší tlak než okolí a velmi rychle se rozpíná do okolí, tím se

vytvoří nadzvuková rázová vlna, známá jako **hrom**. Časový interval mezi bleskem a následným hromem k určení vzdálenosti mezi bouřkou a pozorovatelem - každé tři sekundy odpovídají jednomu kilometru. (Kulhánek, 2011; McVeigh, 2015)



Obrázek 4 Vznik blesku

Zdroj: (Bleskozvody, ©2013)

Po vytvořeném vodivém kanálu může výboj proběhnout opakovaně (jednotky až desítky opakování) s pauzami 30-50 milisekund. Stane-li se tak, plazma je vytvářena několikrát za sebou se zmiňovanými pauzami a lidské oko vnímá tento děj jako mihotání blesku. (Kulhánek, 2011)

Plazma bývá též zmiňována jako čtvrté skupenství hmoty (látky pevné, kapalné, plynné a plazma). Za plazmu lze považovat pouze ionizovaný plyn vykazující kvazineutralitu, tj. počet kladně a záporně nabitých částic je prakticky stejný - nulový náboj. Nejdůležitějším parametrem plazmy (plazmatu) určujícím jeho chování je stupeň ionizace neboli poměr počtu ionizovaných částic k celkovému počtu částic. (Definice plazmatu, 2012.) Ze Sahovy rovnice je patrné, že stupeň ionizace závisí především na teplotě. Dle poměru počtu ionizovaných částic vůči celkovému počtu všech částic se plazma dělí na slabě nebo silně ionizované. V silně ionizovaném plazmatu převládá

koncentrace nabitých částic, naopak u slabě ionizovaného plazmatu je koncentrace nabitých částic vůči koncentraci neutrálních molekul zanedbatelně malá. Viditelnými projevy plazmy jsou kromě blesku například i polární záře či elektrický oblouk. Téměř všechna hmota vesmíru (99%), která je doposud známá, je plazmou. (Martišoviš, 2004)

1.4.1.2 Síla blesku

Blesk je jiskrový výboj trvající přibližně 0,001 sekundy s teplotou až 30 000 stupňů Celsia. Napětí mezi mrakem a zemí se řádově pohybuje v desítkách až stovkách milionů voltů a proud okolo 20 000 ampér. (Kusala, 2003)

Blesky tedy mohou mít ničivé účinky, jak na materiály, tak na živý organismus, člověka. Blesky v místě dopadu (úderů) vyvolávají veliké teplo, které může být příčinou požáru nebo deformace materiálu. Jelikož kolem každého vodiče, kterým protéká elektrický proud, vzniká magnetické pole, může vlivem blesku dojít například k deformaci vedení, kdy magnetické pole kolem vodiče, kterým protéká elektrický proud blesku, je velmi silné a působí na okolní elektrické vedení. V okolním elektrickém vedení může také způsobit přepětí, nebo indukovat elektrický proud jevem nazývaným elektromagnetická indukce.

Účinky elektrického proudu blesku na lidský organismus jsou závislé především na dráze, kterou organismem protéká. Elektrický proud může lidským organismem protékat mezi končetinami, mezi končetinami přes tělo, nebo mezi hlavou a končetinou. Nejnebezpečnější dráha elektrického proudu je mezi hlavou a končetinou, dále přes levou stranu těla, kvůli působení na srdce. Účinky jsou tedy různé: od oděrek, popálenin, křečí až po smrt způsobenou ochromením dýchacího centra, míháním srdečních komor či poškození mozku. (Meduna a Koudelka, 2006)

1.4.1.3 Ochrana před blesky

Jelikož blesky jsou přírodním jevem, nelze zamezit jejich výskytu. Z kapitoly o vzniku blesku vyplývá, že blesk zpravidla udeří do nejvyššího bodu v okolí. Tohoto předpokladu využívá zařízení nazývané bleskosvod, mezi lidmi známé především jako

hromosvod, které svede blesk do země. Vynalezl jej český vynálezce Václav Prokop Diviš. (250 let hromosvodu Prokopa Divíše, 2004)

Hromosvodu se využívá k ochraně staveb a zařízení před blesky. Podrobnosti v souvislosti s ochranou staveb a zařízení před blesky řeší prováděcí vyhláška ke stavebnímu zákonu, §36 vyhlášky 268/2009 Sb., vyhláška o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů. Požadavky na provedení a materiály řeší množství českých technických norem (ČSN).

Ochrana člověka před blesky spočívá především v opatřeních jako, nevycházet za bouřky zbytečně ven, nevyskytovat se v otevřeném terénu, vodě, na vyvýšených místech nebo pod stromy či skalními převisy. (Kopáček, ©2017) Zvláště nebezpečné je tzv. „krokové napětí“, které vzniká mezi nohama člověka, v jehož blízkosti udeřil blesk např. do stromu. Elektrický proud je skrze strom sveden k zemi a do okolí stromu klesá jeho intenzita se čtvercem vzdálenosti. Člověk stojící s rozkročenýma nohama u tohoto stromu vytváří rozdíl potenciálů, tedy napětí a začne skrz něj procházet elektrický proud, protože elektrický proud prochází vždy cestou nejmenšího odporu. (Hořák, 2017)

1.4.2 Jaderné havárie

Dříve než budou popsány jaderné havárie jako mimořádné události, je na místě popsat složení a funkci jaderného zařízení. Hrozba jaderné havárie je na území České republiky velice reálná. K jaderné havárii nemusí dojít pouze lidským pochybením v tomto zařízení, ale také technologickou či technickou chybou a dále vnějším ohrožením, pod čímž si lze představit především teroristický útok. Na území České republiky se nachází dvě jaderné elektrárny. Jsou jimi Jaderná elektrárna Temelín (JETE) nacházející se v Jihočeském kraji u města Týn nad Vltavou a Jaderná elektrárna Dukovany (EDU) u obce Dukovany v kraji Vysočina. (Jaderná energetika v ČR, ©2017.)

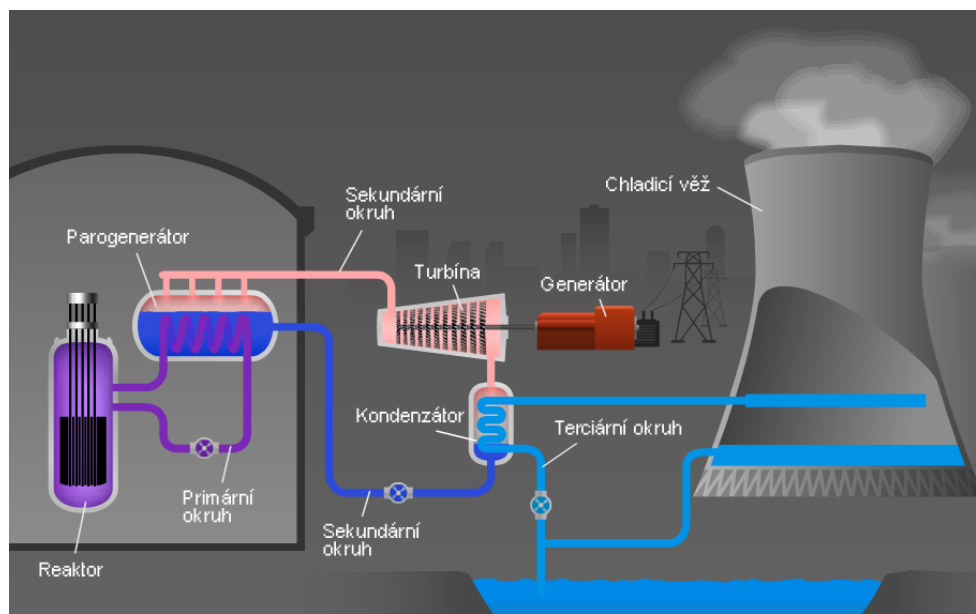
Jaderná elektrárna je zařízení k výrobě elektrické energie pracující na obdobném principu jako elektrárna tepelná (př. uhelná). Pára stejně jako u uhelné elektrárny pohání turbínu napojenou na generátor, kde se mechanická energie mění na energii elektrickou,

kteřá je dále rozváděna do rozvodné sítě. Zásadní rozdíl mezi jadernou a tepelnou elektrárnou je ve způsobu získání (vyrobení) páry potřebné k výrobě elektrické energie. Zatímco v tepelné uhelné elektrárně pára vzniká spalováním uhlí, v jaderné elektrárně vzniká štěpením uranu 235. (Kusala, 2004a)

Jaderná elektrárna se skládá ze tří okruhů (Obrázek 5):

- 1) primární okruh
- 2) sekundární okruh
- 3) terciální okruh (též nazývaný jako chladicí okruh)

Jadernou elektrárnu lze rozdělit na tzv. jadernou a nejadernou část. Jadernou část elektrárny tvoří primární okruh. Zbylé dva okruhy (sekundární a terciální okruh) tvoří nejadernou část. Okruhy spolu „sousedí pouze na dotyk“ to znamená, že spolu nejsou přímo propojeny, nedochází tedy k promíchávání vod okruhů. (Kusala, 2004a)



Obrázek 5 Schéma jaderné elektrárny

Zdroj: (Jak funguje jaderná elektrárna | Jaderná energetika, ©2017)

Celý proces výroby elektrické energie začíná u jaderné elektrárny v primárním okruhu, který je celý uložen v tzv. kontejnmentu. Kontejnment je hermeticky uzavřená

betonová budova k ochraně jaderného reaktoru tvořená velice silným železobetonem. Jaderný reaktor je počátkem celého procesu výroby elektrické energie, probíhá v něm řízená jaderná reakce štěpení jader uranu. Uran je do jaderného reaktoru dodáván ve formě peletek (malé válečky o hmotnosti 5 gramů, které jsou schopny energií z nich získanou nahradit 1640 kilogramů hnědého uhlí nebo 880 kilogramů černého uhlí, 600 litrů benzínu či 1170 kilogramů dřeva). Peletky jsou vkládány do hermeticky uzavřených trubek a vytvářejí palivové proutky. Z palivových proutků jsou dělány svazky neboli palivové kazety (též palivový článek či soubor). (Kusala, 2004a)

Při jaderné reakci dochází ke štěpení jader uranu 235 a to tím způsobem, že je jádro atomu uranu ostřelováno pomalým neutronem. Jádro atomu uranu tento neutron přijme (absorbuje) a vznikne tak nestabilní nuklid - uran 236, který se následně rozpadá na dva dceřinné produkty, přičemž je uvolněno elektromagnetické záření a 2 až 3 rychlé neutrony s kinetickou energií do 2 MeV, které, aby mohly dále reagovat (štěpit nuklid uran 235), musí být zpomaleny - je zapotřebí snížit jejich energii na 0,025 až 0,5 eV. (Reichl a Všetická, 2016) Zpomalení neutronů probíhá v tzv. moderátoru, látce obsahující lehká jádra. Nejčastěji se ke zpomalení neutronů používá voda či grafit. Důležitou vlastností moderátoru je také co nejmenší absorpce neutronů. Látkami vyhovující oběma požadavkům je například těžká voda, grafit či lehká voda. Množství volných neutronů je v reaktoru regulováno regulačními tyčemi, tím tedy i průběh štěpení a výkon reaktoru. Regulační tyče se zasouvají či vysouvají z prostoru mezi palivovými články, dle toho, zda je potřeba výkon snížit či zvýšit. S vysouváním regulačních tyčí stoupá výkon reaktoru. Pro případ okamžitého ukončení reakce je jaderný reaktor vybaven bezpečnostními tyčemi, které jsou navíc vybaveny větší vrstvou absorbátoru. (Kusala, 2004b)

Jaderná reakce uvnitř reaktoru vytváří velké množství tepla, které je odváděno vodou ochlazující reaktor do parogenerátoru. V parogenerátoru voda přicházející od reaktoru předá své teplo přes stěny trubek vodě sekundárního okruhu. Voda v parogenerátoru (voda sekundárního okruhu) se mění na páru, která pohání turbínu napojenou na generátor. V generátoru vzniká elektromagnetickou indukcí elektrická energie (mechanická energie se mění na elektrickou), která je dále přenášena a upravována

(transformace napětí) až ke konečným spotřebitelům (domácnosti, továrny atd.). (Reichl a Všeticka, 2008c) Pára, která poháněla lopaty turbíny, dále putuje do kondenzátoru, kde dochází ke kondenzaci páry zpět na vodu sekundárního okruhu vlivem vody chladicího okruhu. Teplo přijaté terciálním okruhem je odváděno do chladicí věže, kde dochází k ochlazení vody vzduchem. (Kusala, 2004a)

1.4.2.1 Jaderná havárie – Černobyl

Jaderná elektrárna Černobyl s oficiálním názvem Černobylská jaderná elektrárna V. I. Lenina se nachází na území Ukrajiny, nedaleko města Černobyl, které leží asi 100 km od jejího hlavního města, Kyjeva. Nedaleko elektrárny leží městečko Pripjat', kde bydlela převážná většina zaměstnanců Černobylu, dnes nazývané městem duchů.

Havárie Černobylské elektrárny je dodnes nejhorší jadernou havárií v dějinách lidstva. Jednalo zde o kombinaci technických nedostatků elektrárny a pochybení lidského faktoru. K havárii došlo 26. dubna 1986 (v 01:23 hod.) při provádění bezpečnostní zkoušky (na 4. reaktoru), jež měla ověřit bezpečnost elektrárny v případě výpadku elektrické energie. Zkouška měla předem stanovené podmínky, za kterých mohla být provedena, především se týkaly výkonu reaktoru. Při přípravě reaktoru na bezpečnostní zkoušku při postupném snižování výkonu reaktoru výkon neplánovaně klesl až pod bezpečnostní minimum tj. minimální hodnotu, při které je ještě bezpečné zkoušku provádět (okolo 700 megawatt). Vedoucí noční směny i přesto nařídil provedení testu. Nařídil vytažení regulačních tyčí, aby výkon zvýšil, ačkoliv měl reaktor odstavit. Výkon rostl, jak vedoucí směny předpokládal, a proto zahájil test odpojením turbíny, jež měla brzy opět naskočit zapnutím naftových agregátů. Vlivem vytažení regulačních tyčí a nedostatku chladicí vody vznikala v reaktoru žhavá místa a velké množství vodní páry, jejíž tlak se zvětšoval. Rostoucí výkon chtěli pracovníci elektrárny snížit zasunutím regulačních tyčí, ale stalo se, co nikdo z nich neočekával - došlo k dalšímu nárůstu výkonu reaktoru. Regulační tyče se jednak zcela nezasunuly, jelikož jejich dráhy byly pokřiveny vysokou teplotou, jednak jejich konce vstupující do reakce byly z grafitu - reakce pokračovala až k havárii, kdy bylo do ovzduší a širokého okolí

uvolněno desítky tun jaderného paliva a radioaktivního grafitu. (Chernobyl: Sequence of Events, 2009; Ryzí, 2014)

Havárie si vyžádala asi tři desítky obětí umírajících na akutní nemoc z ozáření, několik stovek lidí postižených radiací. Černobylská havárie se považuje za nejhorší havárii především kvůli činnosti Sovětského svazu po havárii, který událost tajil a evakuoval Pripjat' až po třech dnech od havárie. (Backgrounder on Chernobyl Nuclear Power Plant Accident, 2014)

Popis celé havárie byl sepsán zároveň i podle dokumentu „Černobyl - nultá hodina“. Ostatní citované zdroje některé informace upřesňují či zmiňují, co v dokumentu nebylo řečeno.

1.4.2.2 Jaderná havárie – Fukušima 1

Jaderná elektrárna Fukušima 1 se nachází v Japonsku na východním pobřeží ostrova Honšū na rozhraní měst Okuma a Futaba.

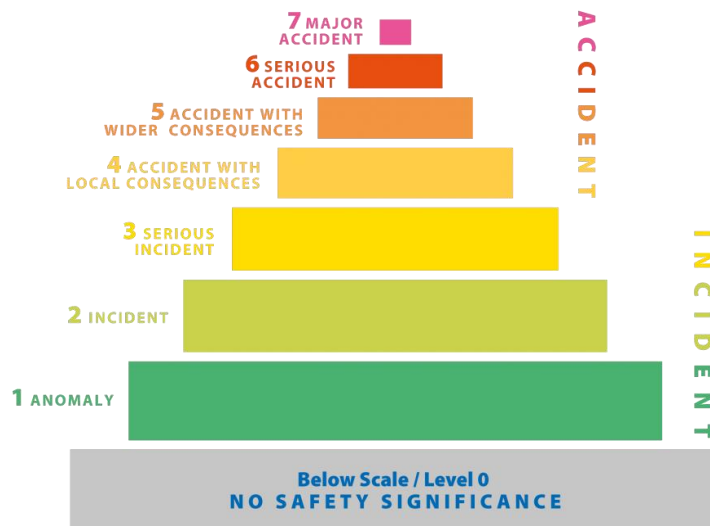
K havárii jaderné elektrárny Fukušima došlo v pátek 11. března 2011 v důsledku historicky nejsilnějšího a nejdéle trvajících zemětřesení (okolo pěti minut) na území Japonska o síle 9,0 Richterovy škály, které vyvolalo vlnu vysokou až 15 metrů (Tsunami), jež zaplavila jadernou elektrárnu. (Fukushima Accident, 2017) Při známkách zemětřesení automaticky dochází k „vypnutí“ jaderných reaktorů, které musí být po vypnutí „dochlazeny“. Zemětřesení poškodilo vnější napájení jaderné elektrárny elektrickou energií a došlo tak k aktivaci záložních zdrojů (naftových agregátů). Následně ale vlna Tsunami tyto zdroje zaplavila a došlo k úplnému „odstřižení“ jaderných reaktorů od elektriny, která je důležitá jednak k zajištění jejich chlazení, ale i pro personál elektrárny ke kontrole provozních hodnot jako je teplota a tlak uvnitř reaktoru, množství chladicí vody, její rychlost a další. Výpadkem proudu byla ztížena i komunikace pracovníků elektrárny s krizovým štábem. Pracovníci elektrárny museli improvizovat, vypomohli si autobateriemi, kterými napájeli přístroje ke zjištění tlaku a teploty reaktoru. Z vnějšku byla snaha o napájení elektrárny dovezením naftových agregátů. Bohužel nebylo možné je dovézt na patřičné místo, jelikož voda společně se

zemětřesením zcela zanesly cestu různými předměty, a z místa, kde stály, je nebylo možné propojit s elektrárnou, jelikož nebyly k dispozici dostatečně dlouhé kabely. Reaktor byl dále bez chlazení a tlak uvnitř něho se zvyšoval. Řešením bylo povolení tlakových ventilů reaktoru. Jejich povolení však znamenalo vypouštění vodíku (vznikajícího uvnitř reaktoru působením vysokých teplot na materiál palivových tyčí - zirkonium reagující s vodní párou) do pláště reaktoru, ale i jeho únik do budovy reaktoru. Právě únik vodíku měl za následek exploze. Nejprve na reaktoru číslo jedna a v následujících dnech explozi v reaktoru číslo tři a požár reaktoru číslo čtyři. Na druhém reaktoru, dle vyšetřování, nedošlo k explozím vlivem porušení jeho těsnosti při výbuchu reaktoru číslo jedna. Fukušimská elektrárna měla celkem 6 reaktorů, reaktory číslo pět a šest byly v tu dobu odstaveny. (Vznik a vývoj havárie na jaderné elektrárně Fukushima Dai-ichi, 2012; Fukushima Accident, 2017)

Popis celé havárie byl sepsán zároveň také podle dokumentu „Vteřiny před katastrofou - Fukušima“. Ostatní citované zdroje některé informace upřesňují či zmiňují, co v dokumentu nebylo řečeno. V dokumentu jsou řečeny i především nedostatky elektrárny, které havárii napomohly. Hlavní nedostatek elektrárny byl již při stavbě. Elektrárna měla být dle původního projektu vybudována o 25 metrů výše. Reaktory byly umístěny do skalního podloží elektrárny, což je lépe chránilo před zemětřesením, ale ne před vodou. Před vodou v době havárie chránila elektrárnu stěna vysoká 6 metrů. Dalším z nedostatků byl dle expertů zastaralý design reaktorů.

Stejně jako havárie v Černobyli, byla tato nehoda ohodnocena nejvyšším stupněm závažnosti INES 7. (Petr, 2012)

INES (The International Nuclear and Radiological Event Scale) neboli mezinárodní měřítko k hodnocení závažnosti jaderných a radiologických událostí z hlediska bezpečnostního významu. Stupnice INES byla vyvinuta roku 1990 Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA) a Agenturou pro jadernou energii Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD / NEA). Stupnice má celkem 7 úrovní (Obrázek 6), čím vyšší je číselné hodnocení události, tím větší má bezpečnostní význam. (International Nuclear and Radiological Event Scale, ©2017)



Obrázek 6 Mezinárodní stupnice k hodnocení závažnosti radiačních a radiologických událostí (INES)

Zdroj: (International Nuclear and Radiological Event Scale, ©2017)

1.4.2.3 Nebezpečí jménem radioaktivní odpad

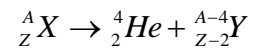
Dříve než budou definovány pojmy radioaktivní odpad, jaderný odpad apod. je důležité definovat pojem radioaktivita, aktivita a další pojmy. Radioaktivita je schopnost některých atomů se samovolně přeměňovat na jiné atomy (radioaktivní přeměna). Atomům, které jsou tohoto schopny, nesou název radionuklidy (nuklidy s nestabilním jádrem). Nestabilita jádra je způsobena přebytečnou energií, kterou jádro nuklidu ve snaze stát se stabilním uvolňuje ve formě záření či částic. (Švec, 2005)

Základní dělením radioaktivity je rozdělení na radioaktivitu přirozenou a umělou. Přírodní radioaktivita se vyskytuje u přírodních prvků, kdežto umělá radioaktivita se vyskytuje u prvků uměle vyrobených, například v urychlovačích částic či jaderných reaktorech. (Záškodný, 2005)

Dle druhu emitovaného záření se radioaktivita (radioaktivní přeměny) dělí na (Podgoršak, 2005)

- **Přeměna α** - Z jádra je emitováno α záření (α částice), které je tvořeno jádrem helia s dvěma protony a dvěma neutrony. Nukleové číslo se zmenšuje

o 4 a protonové o 2 tzn. výsledný prvek (dceřinný) se v periodické soustavě prvků nalézá o dvě místa vlevo od prvku původního (mateřského).



➤ **Přeměna β** - Z jádra jsou uvolňovány částice β , elektron nebo jeho antičástice pozitron („kladný elektron“). Beta záření má spojité spektrum.

- **Přeměna β^-** - Neutron se v jádře mateřského radionuklidu mění na proton, antineutrino a elektron, který je z jádra uvolněn. Nukleonové číslo jádra se nemění, protonové číslo se zvětší o 1, to má za následek posun prvku v periodické soustavě prvků o jedno místo vpravo.



- **Přeměna β^+** - V jádře mateřského radionuklidu dochází k přeměně protonu na neutron, neutrino a pozitron, který je z jádra uvolněn. Nukleonové číslo se nemění, protonové číslo prvku se zmenší o 1, to má za následek posun prvku v periodické soustavě prvků o jedno místo vlevo.



➤ **Přeměna γ** - Přeměna γ není prvotním jevem jako tomu je u předchozích přeměn. Předchozí radioaktivní přeměny se týkaly mateřského jádra. Oproti tomu radioaktivita γ se týká jádra dceřinného. Lze ji charakterizovat jako průvodní jev vznikající při obnovování rovnováhy jádra porušeného α či β radioaktivitou. Gama částicemi emitovanými z jádra jsou gama fotony. Spektrum gama záření je čárové neboli nespojitě. (Záškodný, 2005)

Ke stabilizaci jádra nemusí dojít pouze jednou přeměnou. I když se radionuklid přemění na izotop jiného prvku, neznamená to, že výsledné jádro je stabilní. Velmi často je vzniklý prvek také radioaktivní (nestabilní) a snaží se stabilizovat opět proměnou a vyzařováním přebytečné energie. V takovém případě se hovoří o postupné stabilizaci jádra, která trvá až do přeměny ve stabilní izotop. Původní jádro tedy prochází

tzv. rozpadovou či přeměnovou řadou končící v případě přírodních radionuklidů izotopy olova či vizmutu. (Beneš et al., 2015)

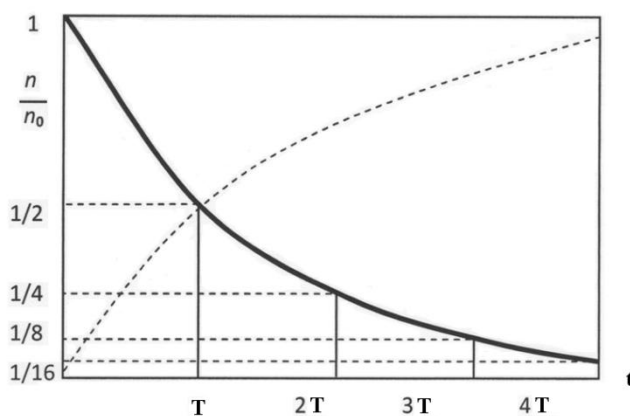
Veličina kvantifikující radioaktivitu se nazývá **aktivita** a lze ji jednoduše charakterizovat jako počet radioaktivních přeměn za jednotku času, sekundu.

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Jednotkou aktivity je Becquerel odpovídající jednomu rozpadu (jedné přeměně) za jednu sekundu. V praxi je tato jednotka velmi malá a používá se v řádech vyšších (kilo, mega, giga atd.). (Švec, 2005)

Aktivita radionuklidu klesá exponenciálně s přibývajícím časem. Matematicky radioaktivní přeměnu a tedy i průběh aktivity popisuje **rozpadový zákon**. Grafickým znázorněním rozpadového zákona jsou dvě exponenciální křivky (Obrázek 7): jedna klesající, druhá rostoucí. Klesající popisuje úbytek mateřských prvků s časem a rostoucí popisuje nárůst počtu dceřinných prvků z prvků mateřských. (Záškodný, 2005)

Rovnice a graf rozpadového zákona (Záškodný, 2005): $n = n_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t} = n = n_0 e^{-\lambda \cdot t}$



Obrázek 7 Grafický průběh rozpadového zákona

Zdroj: (Záškodný, 2005)

T	poločas rozpadu (doba, za kterou se přemění $\frac{1}{2}$ mateřských prvků v dceřinné)
n_0	počet mateřských prvků v čase $t=0$
n	počet mateřských prvků v čase t
λ	rozpadová (přeměnová) konstanta

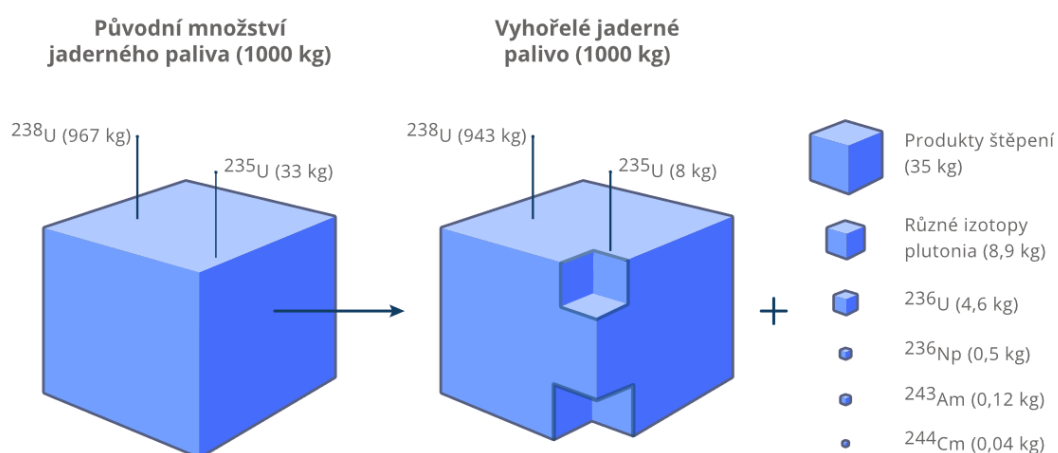
Radioaktivní odpad je definován v zákoně č. 263/2016 Sb. (atomový zákon), ve znění pozdějších předpisů. Dle tohoto zákona se radioaktivním odpadem rozumí věc, která je radioaktivní látkou nebo předmětem nebo zařízením ji obsahujícím nebo jí kontaminovaným, pro kterou se nepředpokládá další využití a která nesplňuje podmínky stanovené tímto zákonem pro uvolňování radioaktivní látky z pracoviště.

Jedním z prováděcích předpisů k zmiňovanému zákonu je vyhláška č. 377/2016 Sb., o požadavcích na bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a o vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie. Podle této vyhlášky se radioaktivní odpad dělí dle skupenství na tři skupiny tj. na pevný, kapalný, plynný. Pevný radioaktivní odpad je ve vyhlášce dále dělen dle způsobu uložení na:

- přechodně aktivní odpad - po době skladování (max. 5 let) vykazuje aktivitu nižší, než jsou uvolňovací úrovně.
- velmi nízkoaktivní odpad - aktivita je vyšší než aktivita přechodně aktivního odpadu, ale nevyžaduje speciální opatření při uložení.
- nízkoaktivní odpad - aktivita je vyšší, než jsou uvolňovací úrovně, ale obsahuje omezené množství dlouhodobých radionuklidů.
- středněaktivní odpad - obsahuje významné množství dlouhodobých radionuklidů, a proto vyžaduje vyšší stupeň izolace od okolního prostředí než nízkoaktivní odpad.
- vysokoaktivní odpad - zde musí být při skladování a ukládání zohledněno uvolňování tepla z přeměny v něm obsažených radionuklidů; po zpracování a úpravě musí tento odpad splňovat podmínky přijatelnosti a musí být uložen do

hlubinného úložiště radioaktivního odpadu umístěného v hloubkách řádově několik set metrů pod zemským povrchem.

Ačkoliv z atomového zákona vyplývá, že radioaktivním odpadem je to, co vykazuje radioaktivitu a nepředpokládá se další využití, mluví-li se však o radioaktivním odpadu hlouběji, často se do něj řadí i vyhořelé jaderné palivo, u kterého se další využití předpokládá (i když je technologicky a finančně náročné). Vyhořelé jaderné palivo představuje méně než 1% všech radioaktivních odpadů na světě, ale obsahuje více než 90% veškeré aktivity. (Radioaktivní odpady a skupina ČEZ, 2016) Z následujícího obrázku (Obrázek 8) je patrné složení vyhořelého jaderného paliva.



Obrázek 8 Složení jaderného paliva před a po využití v jaderné elektrárně

Zdroj: (Radioaktivní odpady a skupina ČEZ, 2016)

V České republice se o bezpečné nakládání s radioaktivními odpady stará organizační složka státu SÚRAO (Správa úložišť radioaktivních odpadů), která svou činnost musí vykonávat v souladu s „*Koncepcí nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem*“ a „*s požadavky na jadernou bezpečnost a ochranu člověka i životního prostředí před nežádoucími vlivy uložených odpadů.*“ (odbor 03200, 2010)

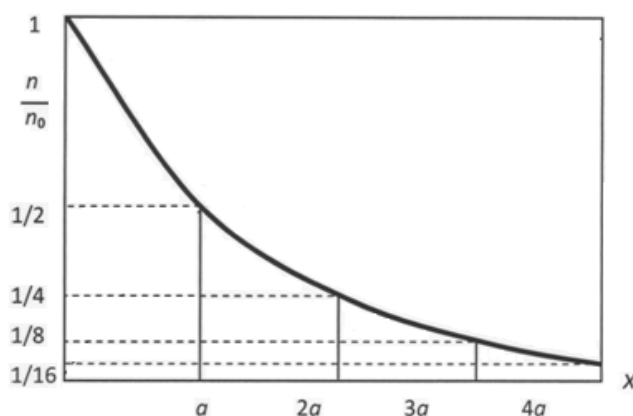
Vyhořelé jaderné palivo je po vyjmutí z jaderného reaktoru přesunuto pod hladinou vody do bazénu, kde je uloženo následujících 3 až 5 let (podle cyklu elektrárny). Po uplynutí této doby je vyhořelé palivo ve speciálních kontejnerech přemístěno (až na

několik desítek let) do meziskladu, odkud se posléze přemístí do hlubinných úložišť. (Dufková, ©1999)

Hlavním problémem vyhořelého jaderného paliva a radioaktivního odpadu je produkce gama záření. Zatímco alfa a beta záření lze odstínit velice snadno (alfa záření papírem, beta záření vrstvou hliníku), gama záření se odstiňuje nejčastěji vrstvou olova či betonu.

Záření gama je elektromagnetické záření s velmi krátkou vlnovou délkou (10^{-11} až 10^{-13} metru). S prostředím interaguje stejně jako rentgenové záření s elektronovým obalem atomů nebo Coulombovským polem jader, tím ubývá na intenzitě (je absorbováno). (Rosina, 2013) Absorpci gama záření popisuje **absorpční zákon** a jeho dílčí jevy: fotoelektrický jev, Comptonův jev a obrácený anihilační jev. (Záškodný, 2005; Vallabhajosula, 2009)

Rovnice a graf absorpčního zákona (Záškodný, 2005): $n = n_0 e^{-\frac{\ln 2}{a} x} = n = n_0 e^{-\mu x}$



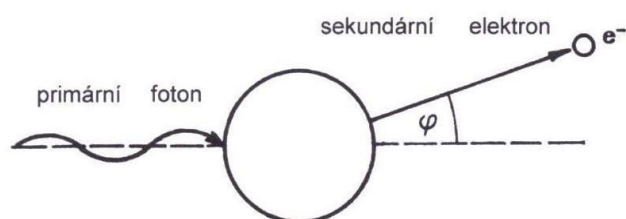
Obrázek 9 Grafický průběh absorpčního zákona

Zdroj: (Záškodný, 2005)

- a polovrstva je taková tloušťka absorbujícího materiálu, 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 lineární součinitel zeslabení záření neboli koeficient absorpce. Je roven součtu koeficientů absorpce tří průvodních jevů.

Dílčí jevy absorpčního zákona:

a) Fotoelektrický jev



Obrázek 10 Znáznornění průběhu fotoelektrického jevu

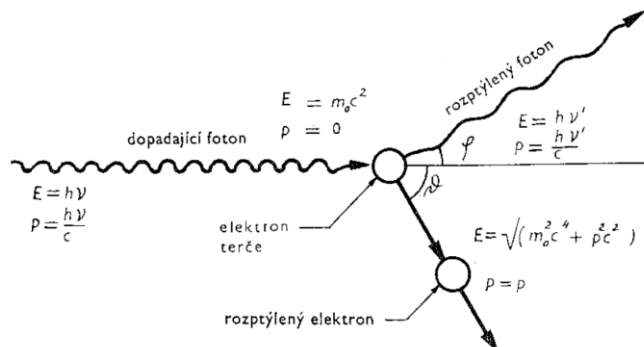
Zdroj: (Rosina a Navrátil, 2000)

Výklad fotoelektrického jevu byl podán A. Einsteinem roku 1905. Einstein tento jev vysvětlil za pomoci vlnově-korpuskulárního dualismu fotonu, dle něhož lze část vlastností světla vysvětlit vlnovým charakterem a část částicovým. K jevu podal i fotoelektrickou rovnici $h\nu = T_{\max} + h\nu_0$, kde $h\nu$ je energie kvanta dopadajícího světla, T_{\max} maximální možná energie fotoelektronu a $h\nu_0$ výstupní práce neboli minimální energie potřebná k vytržení elektronu z kovu (energie spotřebovaná k uvolnění elektronu). (Beiser, 1975; Záškodný, 2005)

Při fotoelektrickém jevu se foton záření sráží s elektronem vázaným v atomu na některém z vnitřních orbitalů, předá mu veškerou svou energii a zaniká (Obrázek 10). Elektron je z elektronového obalu atomu uvolněn s energií fotonu zmenšenou o výstupní práci. Jelikož všechny elektrony nejsou v atomu vázány stejnou silou, liší se tak i jejich energie po vyražení z elektronového obalu atomu. (Vallabhajosula, 2009)

Pravděpodobnost fotoelektrického jevu roste s rostoucím protonovým číslem materiálu a s nižší energií záření. (Kuna et al., 2005)

b) Comptonův jev



Obrázek 11 Znáznornění průběhu Comptonova jevu

Zdroj: (Rosina a Navrátil, 2000)

Jev, jehož vysvětlení bylo podáno roku 1923 americkým fyzikem a nositelem Nobelovy ceny, A. H. Comptonem, který zkoumal rozptyl paprsků rentgenového záření. K vysvětlení bylo nutné uvažovat foton jako částici, která má svou hmotnost a hybnost. (Záškodný, 2005)

Foton záření se sráží s elektronem volným nebo slabě vázaným v atomu na některém z vnějších orbitalů, předává mu část své energie a dále pokračuje jako foton nový (rozptýlený) s energií závislou na úhlu rozptylu (0-180°). Se zvětšujícím se úhlem rozptylu klesá energie rozptýleného fotonu. Při úhlu rozptylu $\varphi = 180^\circ$ se hovoří o tzv. zpětném rozptylu. (Záškodný, 2005; Vallabhajosula, 2009)

Při Comptonově jevu platí - jak zákon zachování energie (ztráta energie fotonu odpovídá energii elektronu), tak zákon zachování hybnosti (konečná hybnost je shodná s počáteční hybností). Počáteční hybnost se skládá z hybnosti dopadajícího fotonu a hybnosti elektronu terče. Konečná hybnost se skládá z hybnosti rozptýleného fotonu a elektronu. Jelikož hybnost je vektorová veličina má velikost a směr, musí být zachována v obou zvolených směrech tj. v ose x (směr původního pohybu fotonu) a v ose y (směr kolmý na osu x). Ve jmenovaných směrech se vyjádří hybnosti před

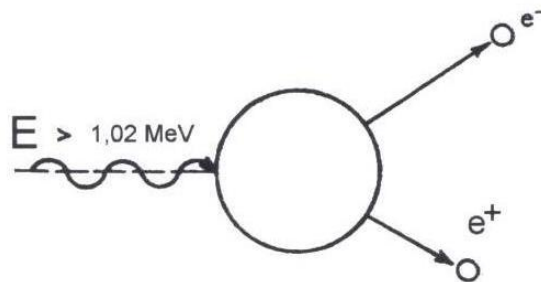
srážkou a po srážce a po matematické úpravě vznikne vztah pro součin p^2c^2 , při porovnání energií taktéž vyjde vztah pro součin p^2c^2 . Vzniklé vztahy se porovnají, matematicky upraví až do podoby vzorce pro Comptonův jev:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\varphi). \text{ (Beiser, 1975)}$$

Teoreticky uvedený vztah platí pro všechny fotony (o libovolné hmotnosti), prakticky však neplatí pro fotony, jejichž hmotnost je o hodně menší než klidová hmotnost elektronu. Comptonův jev tedy nelze pozorovat u fotonů viditelného světla. (Záškodný, 2005)

Comptonův rozptyl je převládající interakcí záření s látkami o malém protonovém čísle (např. voda, tkáň atd.). Comptonův jev nezávisí na protonovém čísle absorpčního materiálu. (Kuna et al., 2005)

c) Obrácený anihilační jev



Obrázek 12 Znázornění průběhu obráceného anihilačního jevu

Zdroj: (Rosina a Navrátil, 2000)

Při obráceném anihilačním jevu foton proniká do blízkosti jádra, předá mu část své hybnosti (Obrázek 12) a má-li poté foton energii větší než je energie odpovídající hmotnosti dvou elektronů (2x 511 keV), vzniká dvojice částic elektron-pozitron s výslednou energií danou vztahem: $T = h\nu - 2m_0c^2$ (Záškodný, 2005; Vallabhajosula, 2009)

1.4.2.4 Eliminace nebezpečí plynoucího z jaderných elektráren

Jak vyplývá z předchozích kapitol, nebezpečí plynoucí z jaderných elektráren je dvojího typu. První skupinou je nebezpečí plynoucí z havárií jaderných elektráren, především nebezpečí v souvislosti s jaderným reaktorem. Druhou skupinou nebezpečí je vyhořelé jaderné palivo emitující nebezpečné ionizující záření.

Snahou státu, potažmo celého světa je co nejvíce tato nebezpečí eliminovat, proto je vydáváno množství zákonů, vyhlášek a dalších legislativních dokumentů jak na úrovni dané země, tak na úrovni mezinárodní, jejichž dodržování je kontrolováno. V České republice je ústředním orgánem státní správy při využívání jaderné energie a ionizujícího záření a v oblasti nešíření jaderných, chemických a biologických zbraní Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Podobně jako ministerstva je zřízen na základě „kompetenčního“ zákona č. 2/1969 Sb., zákon České národní rady o zřízení ministerstev a jiných ústředních orgánů státní správy České socialistické republiky, ve znění pozdějších předpisů. Působnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost jsou dány zákony (O SÚJB, 2018):

- č. 263/2016 Sb., Atomový zákon,
- č. 19/1997 Sb., Zákon o některých opatřeních souvisejících se zákazem chemických zbraní a o změně a doplnění zákona č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 140/1961 Sb., trestní zákon, ve znění pozdějších předpisů,
- č. 281/2002 Sb., Zákon o některých opatřeních souvisejících se zákazem bakteriologických (biologických) a toxinových zbraní a o změně živnostenského zákona ve znění pozdějších předpisů

Zvláště důležitým útvarům v SÚJB je Odbor krizového řízení a informatiky, jehož ředitelka je v přímé podřízenosti předsedkyně SÚJB. Odbor krizového řízení a informatiky plní úkoly vyplývající především ze zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém

řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), ve znění pozdějších předpisů. Dle tohoto zákona plní funkci pracoviště krizového řízení a styčného místa České republiky, technicky a organizačně zajišťuje nepřetržitou provozuschopnost pracoviště pro příjem informací o vzniku mimořádných událostí, o nálezech nebo důvodných podezření z nálezů chemických a biologických zbraní dále zpracovává plán obsahující souhrn krizových opatření a postupů k řešení krizových situací, postupy činnosti členů Krizového štábu SÚJB, zajišťuje jeho činnost, přípravu koordinaci a vyhodnocení havarijních cvičení SÚJB a další. (Odbor krizového řízení a informatiky, 2018)

Pro případ vzniku mimořádné události a následnému zamezení či omezení ohrožení zdraví, životů, majetku a životního prostředí je provozovatel jaderného zařízení povinen zpracovat vnitřní havarijní plán, ve kterém je vypracován systém ochranných opatření zaměstnanců a obyvatelstva tzn. činnosti uvnitř areálu provozovatele prováděné při vzniku mimořádné události. Konkrétní požadavky na obsah vnitřního havarijního plánu jsou uvedeny ve vyhlášce č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události, v aktuálním znění.

U takto významných zdrojů nebezpečí, kterými jsou jaderná zařízení nebo pracoviště IV. kategorie je stanovena „zóna havarijního plánování“ v rozsahu daném vyhláškou č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události, v aktuálním znění. Zónou havarijního plánování se dle této vyhlášky rozumí kruhová plocha v okolí jaderného zařízení nebo pracoviště IV. kategorie o poloměru R , jehož velikost je definována ve zmiňované vyhlášce. V okolí jaderných zařízení se zóna havarijního plánování dělí na 16 sektorů (kruhové výseče) a sestává z dvou kružnic (malá kružnice musí mít takový střed a poloměr, aby pojala areál zařízení a velká kružnice má poloměr R). Zónu havarijního plánování stanovuje krajský úřad.

Pro zónu havarijního plánování jaderného zařízení nebo pracoviště IV. kategorie se zpracovává „vnější havarijní plán“ (VHP) neboli plán k provádění záchranných a likvidačních prací v okolí zdroje nebezpečí. Zpracovatelem tohoto plánu je dle prováděcí vyhlášky k zákonu o integrovaném záchranném systému, vyhlášky č. 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému, hasičský záchranný sbor kraje, v jehož územním obvodu se nachází jaderné

zařízení nebo pracoviště IV. kategorie se stanovenou zónou havarijního plánování (koordinující hasičský záchranný sbor). V případě, že zóna havarijního plánování zasahuje na území více krajů, je povinností příslušných hasičských záchranných sborů krajů zpracovat dílčí části VHP pro příslušnou část území svého kraje a předat je koordinujícímu hasičskému záchrannému sboru. Koordinující hasičský záchranný sbor sjednocuje postupy zpracování dílčích částí, sestavuje VHP pro celou zónu havarijního plánování, navrhuje a projednává jeho změny, projednává VHP s držitelem povolení k jednotlivým činnostem a s dotčenými ústředními správními úřady. Vnější havarijní plán se zpracovává v tolika vyhotoveních, aby ho obdržel žadatel o povolení nebo držitel povolení, ministerstvo, Státním úřadu pro jadernou bezpečnost a hasičské záchranné sbory krajů, do jejichž územního obvodu zasahuje zóna havarijního plánování. Dále koordinující hasičský záchranný sbor zpracovává výpisy z VHP v potřebném rozsahu pro obce, správní úřady s krajskou působností, správní úřady s okresní působností a složky uvedené ve vnějším havarijním plánu kraje a dotčené předpokládanou mimořádnou událostí kde je rozpracování jejich činností pro případ vzniku mimořádné události.

Eliminace nebezpečí plynoucího z radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva je řešena ve vyhlášce č. 377/2016 Sb., o požadavcích na bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a o vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. Kategorie, ve znění pozdějších předpisů. V této vyhlášce jsou uvedeny požadavky na pracoviště nakládající s radioaktivním odpadem před jeho uložením (postup zpracování, úpravy a skladování radioaktivního odpadu), při jeho uložení a požadavky na obsah dokumentace. Důležité z hlediska eliminace nebezpečí jaderného odpadu je především povinnost redukovat množství radioaktivního odpadu na co nejmenší tzn. v co nejvyšší možné míře oddělit využitelné látky a dále, že lze ukládat pouze pevné odpady.

Redukce množství pevného odpadu probíhá například lisováním nebo spalováním, kdy se kontaminované spalitelné předměty spálí ve speciálním spalovacím zařízení a ukládá se až vzniklý popel. Kapalné odpady se upravují například odpařováním přebytečné vody, oddělováním pevných částic, iontovou výměnou či chemickým srážením.

Koncentrované kapalné odpady se následně zpevňují bitumenem nebo aluminosilikátem. (Odbor elektroenergetiky a teplárenství, 2017)

2 Cíl práce, hypotézy

2.1 Cíle práce

Autor se při zpracování diplomové práce snažil naplnit následující cíle:

- 1) Popsat systémově obecnou podobu principu komplementarity a jeho fyzikální aplikace z hlediska teorie kurikulárního procesu.
- 2) Vytvořit strukturu systému mimořádných událostí z hlediska vědního oboru ochrana obyvatelstva a zaměřit se na její edukační dimenzi při přípravě odborníků.
- 3) Provést komparaci fyzikální dimenze a mimořádných událostí s obecnou podobou principu komplementarity.

Předpokládané využití práce v praxi:

- 1) Aplikabilita projektového kurikula v rámci edukačního procesu.
- 2) Prohloubení použitelnosti teorie kurikulárního procesu.

2.2 Hypotézy

H1: Pomocí etap kurikulárního procesu lze vytvořit v rámci kvantitativního výzkumu edukační základ role principu komplementarity.

H2: Znalosti budoucích odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva budou mít z hlediska role principu komplementarity v rámci jejich přípravy teoretické rozdělení blízké rozdělení normálnímu.

3 Operacionalizace pojmů použitých v cílech práce a hypotézách

Princip komplementarity

Princip doplňkovosti. K vysvětlení podstaty daného problému je zapotřebí dvojice pojmů, nelze je však používat současně. Příklady takových dvojic: částice a vlna, věda a umění, analýza a syntéza.

Teorie kurikulárního procesu (kurikulární proces)

Proces přenosu poznatků z vědecké sféry na úroveň adresátů.

Edukační dimenze

Přizpůsobení poznatků z vědecké sféry možnostem a potřebám adresátů.

Komparace

Porovnání, srovnání.

Aplikabilita

Použitelnost.

Normální rozdělení

Reprezentováno Gaussovo křivkou. Pravděpodobnost průměrných výsledků je nejvyšší, nižší a vyšší výsledky jsou spojeny s pravděpodobnostmi nižšími.

4 Metodika

Metodiku zpracování diplomové práce je možné rozdělit do následujících kroků:

- 1) Strukturace fyzikální podoby principu komplementarity.
- 2) Strukturace fyzikální dimenze mimořádných událostí v rámci ochrany obyvatelstva.
- 3) Komparace obou struktur.
- 4) Popis struktury teorie kurikulárního procesu.
- 5) Tvorba očekávaného, projektového a implementovaného kurikula.
- 6) Výběr vhodných statistických metod pro šetření dosažených výsledků v rámci implementovaného kurikula.
- 7) Provedení potřebných statistických analýz, ověření hypotéz, formulace závěrů.

V současné době neexistuje vhodný ucelený text pojednávající o principu komplementarity a propojení světa fyziky s oborem ochrana obyvatelstva, který by byl přiměřený znalostem a schopnostem (z hlediska znalostí matematiky a fyziky) studentům (budoucím odborníkům) oboru ochrana obyvatelstva a z něhož by tito studenti mohli nabývat znalostí. Z právě zmíněných důvodů bylo nutné provedení analýzy mimořádných událostí z hlediska fyzikálního. Fyzikální dimenze mimořádných událostí byla následně přetransformována na sdělitelnou úroveň (konceptuální kurikulum), strukturována z hlediska možností adresátů (zamýšlené kurikulum) a sepsáno do uceleného edukačního textu (projektové kurikulum), přiměřeného znalostem a schopnostem studentů ochrany obyvatelstva. Edukační text byl studentům poskytnut v elektronické podobě. K ověření získaných poznatků byl vytvořen „multiple choice test“ s 20 otázkami (implementované kurikulum). Edukační test byl vytvořen pouze na základě edukačního textu, nepředpokládal tedy jiné znalosti, než které byly uvedeny v autorem vytvořeném edukačním textu. Edukační test byl všem poskytnut v elektronické podobě formou odkazu na webovou stránku (z jedné IP adresy

bylo možné pouze jedno absolvování testu). Absolvování testu nebylo nijak časově omezeno. Studenti byli požádáni, aby test vyplňovali nejen na základě svých znalostí, ale také s pomocí edukačního textu. V testu bylo na výběr ze čtyř možností odpovědí, avšak vždy pouze jedna byla správná. Každá správná odpověď byla ohodnocena 1 bodem a nesprávně zodpovězená otázka 0 body. Test byl zcela anonymní, po respondentech byl vyžadován ročník, forma (prezenční nebo distanční) a typ studia (bakalářské nebo magisterské). K dosažení objektivního výsledku statistického šetření byli k nastudování edukačního textu a podrobení se edukačnímu testu osloveni nejen studenti Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, ale i studenti ostatních univerzit na území České republiky, jejichž budoucí absolventy lze nazvat odborníky v oblasti ochrany obyvatelstva:

- Fakulta biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Kladně,
- Fakulta bezpečnostního inženýrství Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava,
- Fakulta logistiky a krizového řízení Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

Studenti Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích byli osloveni osobně autorem práce a prostřednictvím vyučujících. Studenti zbylých univerzit byli osloveni prostřednictvím jejich studijních oddělení - studijními referentkami.

Statistické vyhodnocení testu proběhne aplikací vhodných statistických metod (aplikace metod šetření datových souborů):

Nejprve bude užito metod deskriptivní statistiky, které zahrnují vymezení základních statistických pojmů (formulace statistického šetření), škálování, měření a elementární statistické zpracování, následně pak metod matematické statistiky, které na metody deskriptivní statistiky navazují. (Záškodný et al., 2016)

Metody deskriptivní statistiky:

a) Formulace statistického šetření (vymezení základních statistických pojmů):

- Hromadný náhodný jev (HNJ) neboli zkoumaná společná vlastnost všech statistických jednotek statistického souboru, kterou nelze s jistotou předpovědět.
- Statistická jednotka (SJ) je konkrétní prvek statistického souboru a nositel zkoumané vlastnosti.
- Statistický znak lze charakterizovat jako míru zkoumané vlastnosti. Statistická jednotka se tím odlišuje od ostatních.
- Hodnota statistického znaku neboli způsob popisu statistického znaku.
- Základní statistický soubor vyjadřuje počet všech statistických jednotek.

Pozn. V předložené práci nebude prováděn náhodný výběr, tzn. výběrový statistický soubor bude shodný se základním statistickým souborem. Náhodný výběr je vhodné provádět při velkém množství statistických jednotek. Výsledky získané ze statistického šetření výběrového statistického souboru se považují za výsledky základního statistického souboru.

b) Škálování

Vytvoření vhodných prvků škál (skupin) do kterých jsou rozdělovány hodnoty statistického znaku. V předložené práci bude využita kvantitativně metrická škála.

c) Měření

Proces, při kterém jsou prvky škály přiřazovány každé statistické jednotce.

d) Elementární statistické zpracování

Výsledky měření se po rozdělení do skupin (škálování) zapíší do tabulky obsahující celkem 8 sloupců (prvky škály x_i , absolutní četnosti škály n_i , relativní četnosti

prvků škály $\frac{n_i}{n}$, kumulativní četnosti $\sum \frac{n_i}{n}$ a sloupce potřebné k výpočtům empirických parametrů $n_i x_i$, $n_i x_i^2$, $n_i x_i^3$, $n_i x_i^4$). Spočítají se a graficky vyjádří do souřadnicového systému x, y zmíněné četnosti. Grafické vyjádření četnosti se nazývá jejím polygonem. Následně se dopočítají empirické parametry, které charakterizují (popisují) statistický soubor:

- parametr polohy (vážený aritmetický průměr) $O_1(x) = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum n_i x_i$
- parametr variability (empirický rozptyl) $C_2(x) = \frac{1}{n} \sum n_i (x_i - \bar{x})^2$
- parametr šikmosti (koeficient šikmosti) $N_3 = \frac{C_3}{C_2 \sqrt{C_2}}$
- parametr špičatosti (koeficient špičatosti) $N_4 = \frac{C_4}{C_2^2}$

Z metod matematické statistiky je v této práci užito neparametrického testování hypotéz, Pearsonova χ^2 -testu dobré shody, jehož výsledkem je zda na hladině statistické významnosti α lze nahradit empirické rozdělení četností teoretickým normálním rozdělením či nikoliv neboli zda lze přijmout/zamítnout H_0 a přijmout/zamítnout H_a .

5 Výsledky

A. Výsledky dosažené aplikací obecně teoretických (logických) a empirických metod v rámci průběhu kvantitativního výzkumu.

5.1 *Konceptuální kurikulum*

Popsání principu komplementarity nejen ve vazbě na vlnově-korpuskulární dualismus, ale také ve vazbě na Heisenbergovy relace neurčitosti, včetně odvození obou relací. Popsání struktury mimořádných událostí. Vytvoření komparativní struktury ve sdělitelné podobě, která odráží propojený vědecký systém jak fyzikální podoby principu komplementarity, tak vybraných mimořádných událostí z hlediska ochrany obyvatelstva.

5.2 *Zamýšlené kurikulum*

Přizpůsobení vytvořené komparativní struktury ve sdělitelné podobě (odrážející propojený vědecký systém jak fyzikální podoby principu komplementarity, tak vybraných mimořádných událostí z hlediska ochrany obyvatelstva) možnostem a potřebám budoucích odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva.

5.3 *Projektové kurikulum*

Projekce zamýšleného kurikula na základě edukačního textu, který zdůraznil obecnou povahu principu komplementarity (nejen tedy zúžení na kvantovou podobu vlnově-korpuskulárního dualismu, která často spolupracuje s relativistickými aspekty) ve vybraných oblastech vědního oboru „Ochrana obyvatelstva“. Výrazně byl edukační text zaměřen na mimořádné události spojené s jadernými haváriemi a důsledky blesku s podstatným vymezením důležitosti obecné povahy principu komplementarity.

5.4 *Implementované kurikulum*

Vytvořený edukační text (zdůrazňující obecnou povahu principu komplementarity ve vybraných oblastech vědního oboru „Ochrana obyvatelstva“) se stal podkladem pro vytvoření edukačního textu, který byl aplikován na respondenty spojené se studiem aspektů ochrany obyvatelstva a který byl statistickými metodami vyhodnocen.

B. Výsledky dosažené aplikací metod šetření datových souborů v rámci průběhu kvantitativního výzkumu.

Statistické šetření - vyhodnocení „multiple choice“ testu:

Charakteristika zkoumaného statistického souboru:

K provedení co nejobektivnějšího statistického šetření byli osloveni nejen studenti Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, ale i studenti ostatních českých univerzit, jejichž budoucí absolventy lze nazvat odborníky v oblasti ochrany obyvatelstva:

- Fakulta biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Kladně,
- Fakulta bezpečnostního inženýrství Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava,
- Fakulta logistiky a krizového řízení Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

Kromě studentů Jihočeské univerzity, kteří byli osloveni osobně nebo prostřednictvím vyučujících, byli studenti oslovováni prostřednictvím jejich studijních oddělení. Studijní oddělení zmiňovaných škol byla požádána o přeposlání odkazu obsahující edukační text i test studentům jak bakalářského, tak magisterského studia. Ačkoliv nebylo dbáno na ročník, formu (prezenční nebo distanční) ani typ studia (bakalářské nebo magisterské) zúčastnili se z velké části pouze studenti třetích ročníků bakalářského studia a prvního a druhého ročníku navazujícího magisterského studia. Studentů z prvních dvou ročníků bakalářského studia bylo tak málo, že byli ze statistického souboru vyřazeni, čímž by mělo být dosaženo větší objektivnosti a vypovídající hodnoty statistického šetření, jelikož studenty třetích ročníků bakalářského studia již lze považovat za odborníky

v oblasti ochrany obyvatelstva (sběr dat z dotazníkového šetření neboli z edukačního testu byl proveden na jaře roku 2018, kdy studentům Bc. programu chybí pouze státní závěrečné zkoušky).

Ke statistickému šetření bylo užito 69 vyplněných dotazníků. Sběr dat probíhal po dobu měsíce března a poloviny dubna. Pro přehlednost o podílu jednotlivých ročníků, forem a typu studia bylo vše uvedeno do následující tabulky (Tabulka 1).

Tabulka 1 Složení zkoumaného statistického souboru

program:	celkem studentů	z toho:		ročník:
		prezenční forma	distanční forma	
Bc.	27	20	7	třetí
Mgr.	42	17	7	první
		8	10	druhý

Zdroj: Vlastní výzkum

a) Formulace statistického šetření

Vymezení základních pojmů:

- HNJ měření znalostí studentů oboru ochrana obyvatelstva
- SJ student
- SZ rozsah znalostí studentů
- HSZ rozsah znalostí studentů (2 až 19 bodů)
- ZSS 69 studentů
- NV nebyl proveden (pro malý rozsah počtu studentů)
- VSS VSS = ZSS = 69 studentů

b) Škálování a měření

Bylo provedeno 69 měření. Pomocí Sturgesova pravidlo bylo zvoleno 7 prvků škály.

Sturgesovo pravidlo $k = 1 + 3,3 \log n$, kde k je počet prvků škály a n počet statistických jednotek.

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

$$k = 1 + 3,3 \log 69$$

$$k = 7,068 \doteq 7$$

1. Škála (0 až 2 body)	2	studenti
2. Škála (3 až 5 bodů)	6	studentů
3. Škála (6 až 8 bodů)	20	studentů
4. Škála (9 až 11 bodů)	22	studentů
5. Škála (12 až 14 bodů)	14	studentů
6. Škála (15 až 17 bodů)	4	studenti
7. Škála (18 až 20 bodů)	1	student

Byla zvolena kvantitativně metrická škála tzn. rozpětí bodů ve škálách je stejné.

c) Elementární statistické zpracování

Pro nízký počet respondentů bude provedeno souhrnné statistické šetření úspěšnosti studentů, nebude tedy dbáno na školu, kterou respondenti studují, formu studia (prezenční, distanční), ročník, ani typ studijního programu tj. zda je respondent studentem bakalářského nebo magisterského.

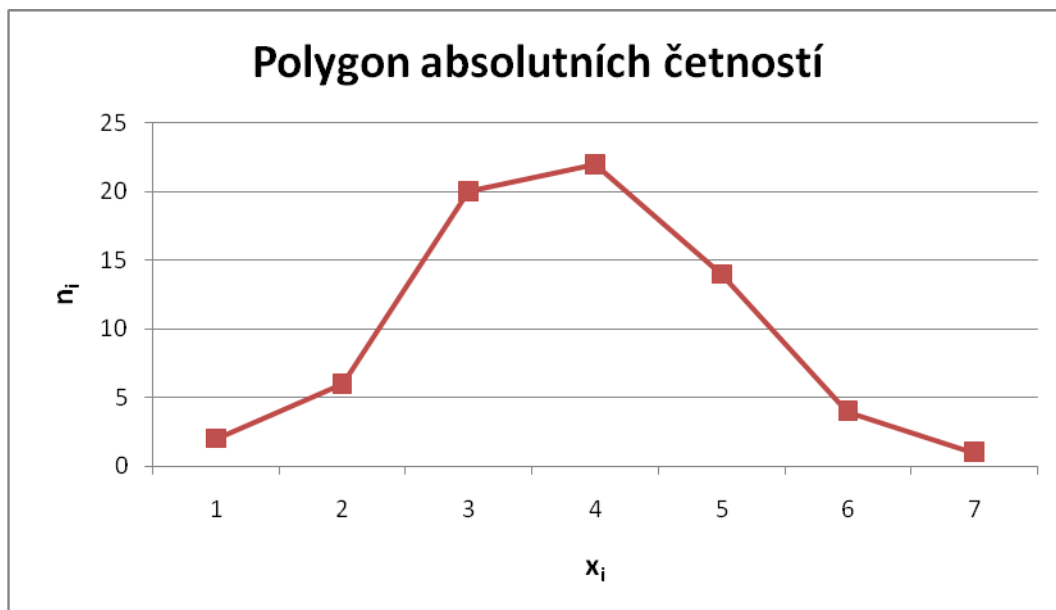
c1) Tabulka

Tabulka 2 Tabulka elementárního statistického zpracování

x_i	x_i	x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$n_i x_i^1$	$n_i x_i^2$	$n_i x_i^3$	$n_i x_i^4$
	(a;b)	střed (a;b)							
1	<0;2>	1	2	0,028986	0,028986	2	2	2	2
2	<3;5>	4	6	0,086957	0,115942	24	96	384	1536
3	<6;8>	7	20	0,289855	0,405797	140	980	6860	48020
4	<9;11>	10	22	0,318841	0,724638	220	2200	22000	220000
5	<12;14>	13	14	0,202899	0,927536	182	2366	30758	399854
6	<15;17>	16	4	0,057971	0,985507	64	1024	16384	262144
7	<18;20>	19	1	0,014493	1	19	361	6859	130321
			69	1		651	7029	83247	1061877

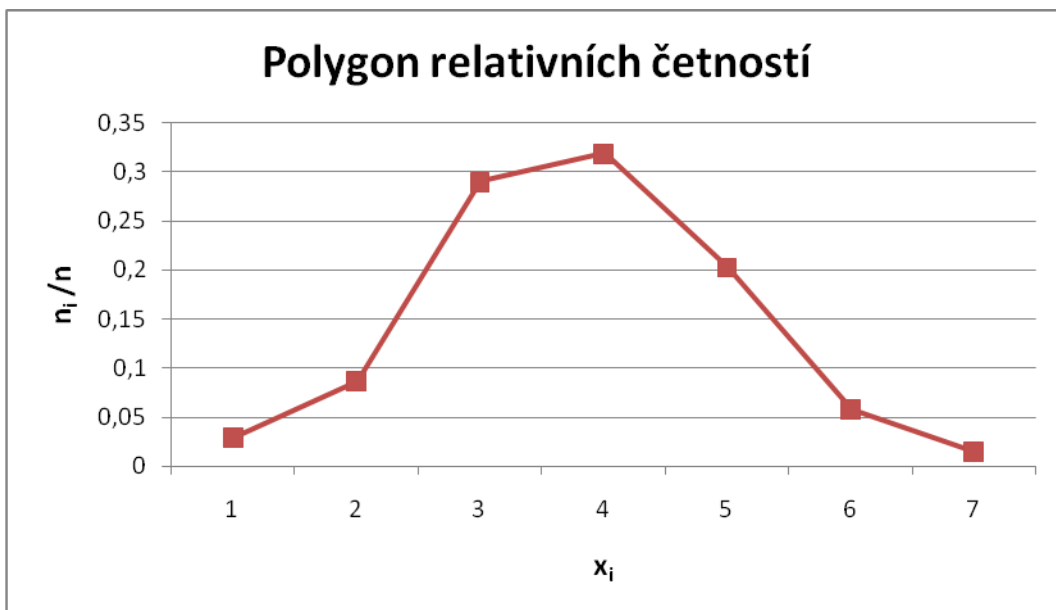
Zdroj: Vlastní výzkum

c2) Empirické rozdělení četností:



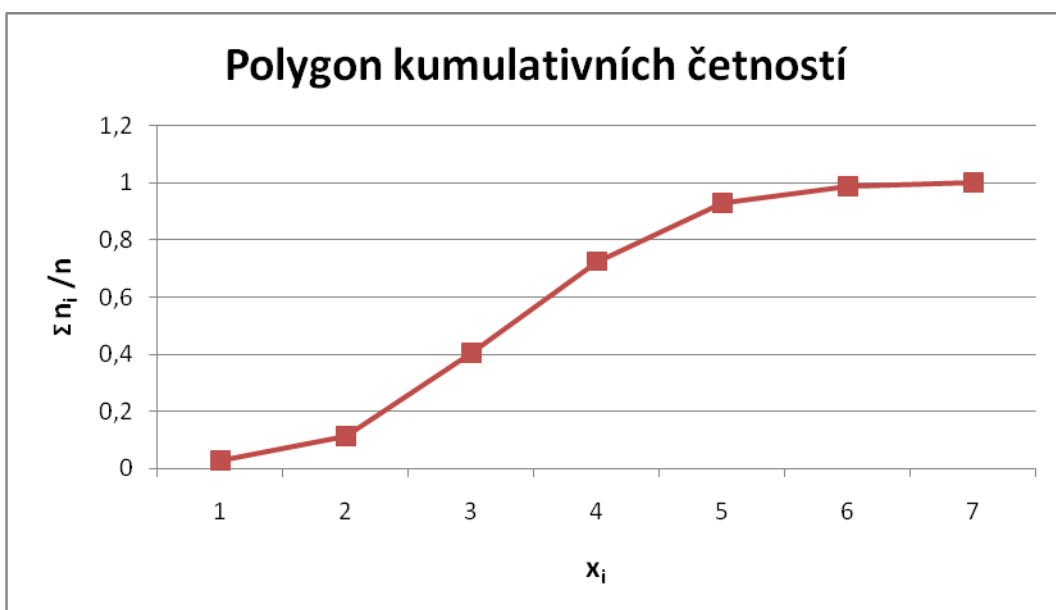
Obrázek 13 Polygon absolutních četností

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 14 Polygon relativních četností

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 15 Polygon kumulativních četností

Zdroj: Vlastní výzkum

c3) Empirické parametry:

- parametr polohy (obecný moment 1. řádu = aritmetický průměr), jako ostatní

obecné momenty r-tého řádu se počítá dle $O_r(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^r$.

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

$$O_1(x) = \frac{1}{69} 651$$

$$O_1(x) = 9,435$$

- parametr variability (centrální moment 2. řádu)

$$C_2 = O_2 - O_1^2$$

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

$$C_2 = \frac{1}{69} 7029 - 9,435^2$$

$$C_2 = 12,854$$

směrodatná odchylka

$$S_x = \sqrt{C_2}$$

$$S_x = \sqrt{12,854}$$

$$S_x = 3,585$$

- parametr šikmosti (normovaný moment 3. řádu)

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

$$N_3 = \frac{O_3 - 3O_2O_1 + 2O_1^3}{C_2 \sqrt{C_2}}$$

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

$$N_3 = \frac{\frac{1}{69} 83247 - 3 \cdot 101,87 \cdot 9,435 + 2 \cdot 9,435^3}{12,854 \sqrt{12,854}}$$

$$N_3 = 0,061$$

➤ parametr špičatosti (normovaný moment 4. řádu)

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

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

$$N_4 = \frac{\frac{1}{n} \sum n_i x_i^4 - 4O_3O_1 + 6O_2O_1^2 - 3O_1^4}{C_2^2}$$

$$N_4 = \frac{\frac{1}{69} 1061877 - 4 \cdot 1206,478 \cdot 9,435 + 6 \cdot 101,87 \cdot 9,435^2 - 3 \cdot 9,435^4}{12,854^2}$$

$$N_4 = 2,993$$

$$Exces = N_4 - 3$$

$$Exces = 2,993 - 3$$

$$Exces = -0,007$$

Normální rozdělení - Gaussova křivka



Obrázek 16 Gaussova křivka s daty vlastního výzkumu

Zdroj: Vlastní výzkum

d) Neparametrické testování – Pearsonův χ^2 -test dobré shody

Pearsonův χ^2 -test je metoda neparametrického testování hypotéz, kterou se zjišťuje, zda je možné nahradit empirické rozdělení rozdělením normálním. Kromě neparametrického testování hypotéz existuje ještě parametrické testování hypotéz, které vypovídá o tom, zda mohl být výběrový statistický soubor vybrán ze základního statistického souboru. K parametrickému testování hypotéz je však zapotřebí velký objem dat (velké množství respondentů). Bude tedy užito pouze Pearsonova χ^2 -testu.

Důležitým krokem k aplikaci Pearsonova χ^2 -testu je stanovení nulové a alternativní hypotézy:

H_0 : Empirické rozdělení četností lze nahradit Gaussovým normálním rozdělením.

H_a : Empirické rozdělení četností nelze nahradit Gaussovým normálním rozdělením.

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

I. Stanovení u_i
$$u_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

x_i = horní mez intervalu; $\mu = \bar{x} = O_1 = 9,435$; $\sigma = Sx = 3,585$

$$u_1 = \frac{2-9,435}{3,585} \quad u_2 = \frac{5-9,435}{3,585} \quad u_3 = \frac{8-9,435}{3,585} \quad u_4 = \frac{11-9,435}{3,585}$$

$$u_1 = -2,074 \quad u_2 = -1,237 \quad u_3 = -0,4 \quad u_4 = 0,437$$

$$u_5 = \frac{14-9,435}{3,585} \quad u_6 = \frac{17-9,435}{3,585} \quad u_7 = \frac{20-9,435}{3,585}$$

$$u_5 = 1,273 \quad u_6 = 2,11 \quad u_7 = 2,947$$

II. Stanovení Φu_i - K hodnotám u_i se ve statistických tabulkách dohledá příslušná hodnota Φu_i . Je-li hodnota u_i záporná, vyhledá se jeho kladná hodnota a odečte se od čísla 1. Přesnějších výsledků Φu_i lze dosáhnout lineární aproximací (zde použita).

$$\phi u_1 = 1 - (0,98077 + \frac{0,98124 - 0,98077}{10} \cdot 4) = 0,019042$$

$$\phi u_2 = 1 - (0,89065 + \frac{0,89251 - 0,89065}{10} \cdot 7) = 0,108048$$

$$\phi u_3 = 1 - 0,65542 = 0,34458$$

$$\phi u_4 = 0,664 + \frac{0,67003 - 0,664}{10} \cdot 7 = 0,668941$$

$$\phi u_5 = 0,89796 + \frac{0,89973 - 0,89796}{10} \cdot 3 = 0,898491$$

$$\phi u_6 = 0,98257$$

$$\phi u_7 = 0,99836 + \frac{0,99846 - 0,99836}{20} \cdot 7 = 0,998395$$

III. Stanovení hodnot pravděpodobnostní funkce $p_i = \phi u_i - \phi u_{i-1}$ a teoretického absolutního rozdělení četností $np_i = 69 * p_i$.

$$p_1 = \phi u_1$$

$$p_1 = 0,019042$$

$$p_2 = \phi u_2 - \phi u_1$$

$$p_2 = 0,108048 - 0,019042$$

$$p_2 = 0,089006$$

$$p_3 = \phi u_3 - \phi u_2$$

$$p_3 = 0,34458 - 0,108048$$

$$p_3 = 0,236532$$

$$p_4 = \phi u_4 - \phi u_3$$

$$p_4 = 0,668941 - 0,34458$$

$$p_4 = 0,324361$$

$$p_5 = \phi u_5 - \phi u_4$$

$$p_5 = 0,898491 - 0,668941$$

$$p_5 = 0,22955$$

$$p_6 = \phi u_6 - \phi u_5$$

$$p_6 = 0,98257 - 0,898491$$

$$p_6 = 0,084079$$

$$p_7 = \phi u_7 - \phi u_6$$

$$p_7 = 0,998395 - 0,98257$$

$$p_7 = 0,015825$$

$$np_1 = 69 \cdot 0,019042 = 1,313898 \doteq 1,31$$

$$np_2 = 69 \cdot 0,089006 = 6,141414 \doteq 6,14$$

$$np_3 = 69 \cdot 0,236532 = 16,320708 \doteq 16,32$$

$$np_4 = 69 \cdot 0,324361 = 22,380909 \doteq 22,38$$

$$np_5 = 69 \cdot 0,22955 = 15,83895 \doteq 15,84$$

$$np_6 = 69 \cdot 0,084079 = 5,801451 \doteq 5,8$$

$$np_7 = 69 \cdot 0,015825 = 1,091925 \doteq 1,09$$

Všechny vypočtené hodnoty byly pro přehlednost uvedeny do následující tabulky (Tabulka 3).

Tabulka 3 Tabulka vypočtených hodnot Pearsonova χ^2 -testu dobré shody

x_i	x_i (a;b)	x_i střed (a;b)	n_i	u_i	ϕu_i	P_i	np_i
1	<0;2>	1	2	-2,074	0,019042	0,019042	1,31
2	<3;5>	4	6	-1,237	0,108048	0,089006	6,14
3	<6;8>	7	20	-0,4	0,34458	0,236532	16,32
4	<9;11>	10	22	0,437	0,668941	0,324361	22,38
5	<12;14>	13	14	1,273	0,898491	0,22955	15,84
6	<15;17>	16	4	2,11	0,98257	0,084079	5,8
7	<18;20>	19	1	2,947	0,998395	0,15825	1,09

Zdroj: Vlastní výzkum

Z důvodu podmínky Pearsonova χ^2 -testu (absolutní četnost v každém prvku škály musí být větší nebo rovna 5) byly škály nesplňující tuto podmínku (x_1 a x_7) přičteny k sousedním škálám: x_1 sloučena se škálou x_2 , x_7 sloučena se škálou x_6 , čímž došlo k naplnění podmínky (Tabulka 4).

Tabulka 4 Tabulka splňující podmínky Pearsonova χ^2 -testu dobré shody

x_i	x_i (a;b)	x_i střed (a;b)	n_i	np_i
1,2	<0;5>	2,5	8	7,45
3	<6;8>	7	20	16,32
4	<9;11>	10	22	22,38
5	<12;14>	13	14	15,84
6,7	<15;20>	17,5	5	6,89

Zdroj: Vlastní výzkum

IV. Stanovení experimentální hodnoty testového kritéria χ^2_{exp}

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

$$\chi^2_{\text{exp}} = \frac{(n_{1,2} - np_{1,2})^2}{np_{1,2}} + \frac{(n_3 - np_3)^2}{np_3} + \frac{(n_4 - np_4)^2}{np_4} + \frac{(n_5 - np_5)^2}{np_5} + \frac{(n_{6,7} - np_{6,7})^2}{np_{6,7}}$$

$$\chi^2_{\text{exp}} = \frac{(8 - 7,45)^2}{7,45} + \frac{(20 - 16,32)^2}{16,32} + \frac{(22 - 22,38)^2}{22,38} + \frac{(14 - 15,84)^2}{15,84} + \frac{(5 - 6,89)^2}{6,89}$$

$$\chi^2_{\text{exp}} = 0,041 + 0,83 + 0,006 + 0,214 + 0,518$$

$$\chi^2_{\text{exp}} = 1,609$$

V. Stanovení $\chi^2_{\text{teoretické}}$

$$\chi^2_{\text{teoretické}} = \chi^2_{k-r-1}$$

$$\chi^2_{\text{teoretické}} = \chi^2_{4-2-1}$$

$$\chi^2_{\text{teoretické}} = \chi^2_1$$

VI. Kritický obor W

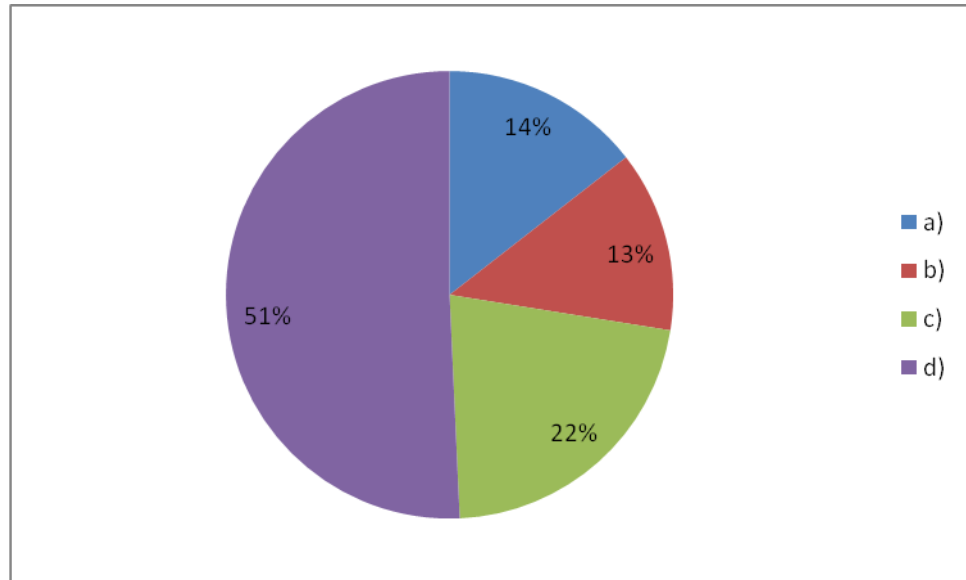
$$W = \langle \chi^2_{\text{teoretické}}(\alpha); +\infty \rangle$$

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

$$W = \langle 3,84; +\infty \rangle$$

Jelikož $\chi^2_{\text{exp}} \notin W$, je na hladině statistické významnosti $\alpha=0,05$ přijata hypotéza H_0 neboli, že empirické rozdělení četností lze nahradit Gaussovým normálním rozdělením.

C. Výsledky edukačního testu - rozbor odpovědí jednotlivých otázek

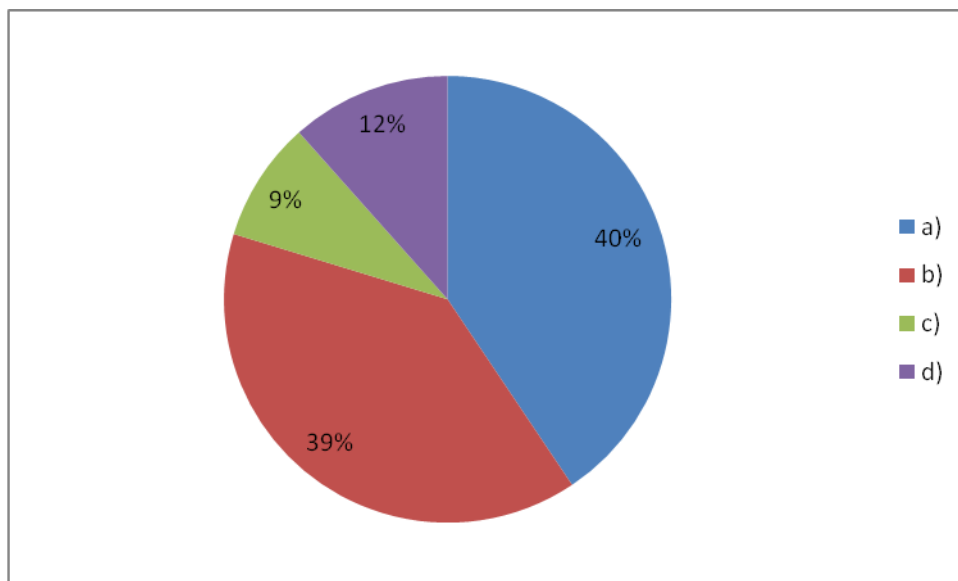


Obrázek 17 Bohrův princip komplementarity

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 1)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, s čím úzce souvisí Bohrův princip komplementarity. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) vybralo možnost a) *S vlnovými vlastnostmi (vlnová délka, frekvence, apod.) elektromagnetického záření* 10 respondentů (14%), možnost b) *S částicovými vlastnostmi (hmotnost, hybnost) korpuskulárního záření* 9 respondentů (13%), možnost c) *S částicovými vlastnostmi (hmotnost, hybnost) elektromagnetického záření* 15 respondentů (22%) a správnou odpověď neboli možnost d) *S vlnovými i částicovými vlastnostmi (vlnově-korpuskulárním dualismem)* zvolilo 35 respondentů (51%).

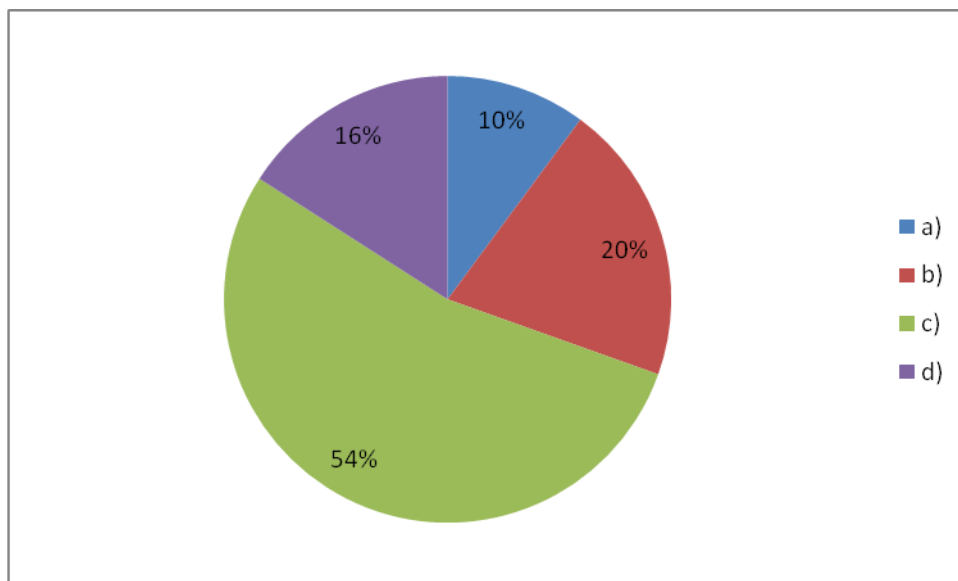


Obrázek 18 Heisenbergova relace neurčitosti polohy a hybnosti

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 2)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, jaký vztah vyjadřuje Heisenbergova relace neurčitosti polohy a hybnosti mezi těmito veličinami. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo správnou odpověď variantu *a) Přibližně nepřímou úměrnost mezi určitostí polohy a hybnosti* 28 respondentů (40%), variantu *b) Přímou úměrnost mezi určitostí polohy a hybnosti* zvolilo 27 respondentů (39%), variantu *c) Mezi veličinami není žádný vztah* 6 respondentů (9%) a variantu *d) Mezi veličinami platí pohybová rovnice* zvolilo 8 respondentů (12%).

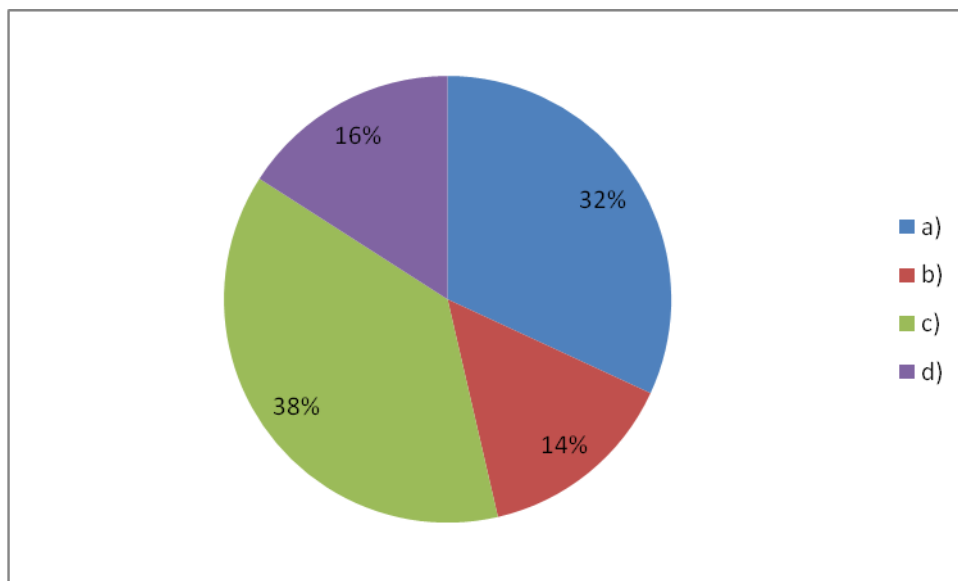


Obrázek 19 Výsledek Heisenbergových relací neurčitosti

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 3)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, co je vždy výsledkem Heisenbergových relací neurčitosti (neurčitost polohy a hybnosti, neurčitost energie a času). Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo možnost *a) Záporné číslo* 7 respondentů (10%), možnost *b) Nula* zvolilo 14 respondentů (20%), možnost *c) Číslo menší jak polovina Planckovy-Diracovy konstanty* 37 respondentů (54%). Správnou odpověď *d) Polovina Planckovy-Diracovy konstanty a více*, zvolilo 11 respondentů (16%).

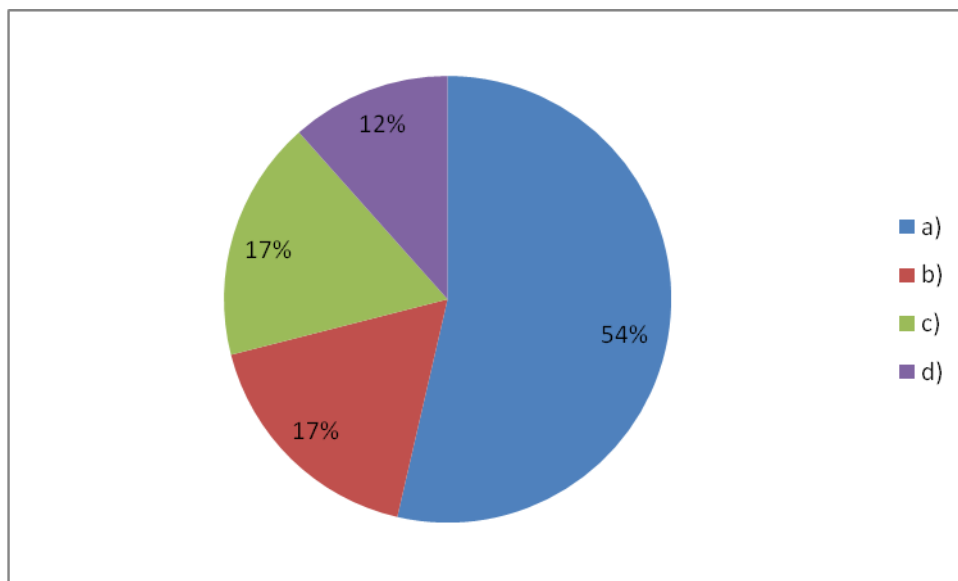


Obrázek 20 Vlnově-korpuskulární dualismus

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 4)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, co vyjadřuje vlnově-korpuskulární dualismus. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) vybralo možnost *a) Foton záření má jak vlnový, tak i částicový charakter zároveň* 22 respondentů (32%), možnost *b) Částice má jak částicový, tak vlnový charakter zároveň* označilo 10 respondentů (14%), možnost *c) Foton i částice mohou mít jak částicový tak i vlnový charakter zároveň* 26 respondentů (38%). Správnou odpověď *d) Foton i částice mohou mít jak částicový tak i vlnový charakter, nikdy však zároveň zvolilo* 11 respondentů (16%).

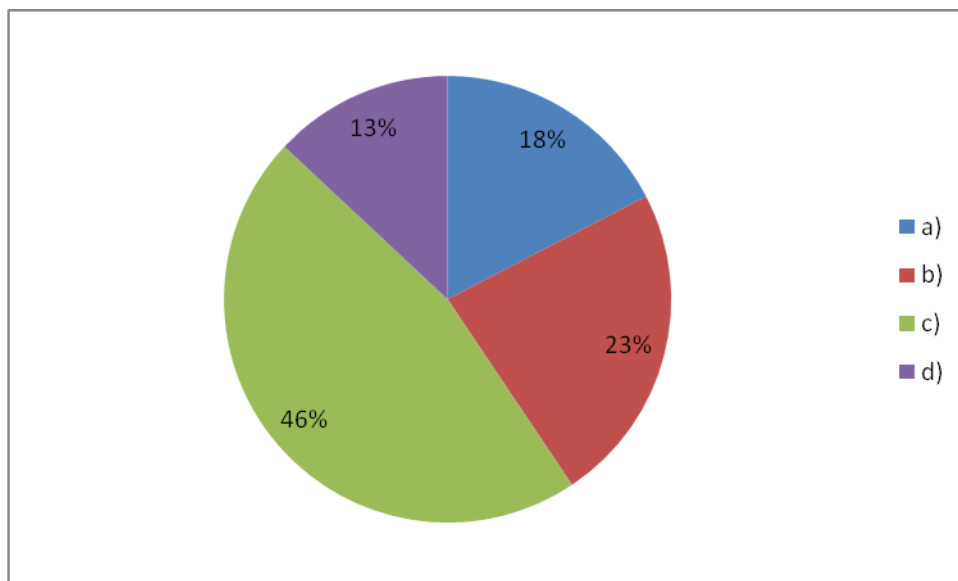


Obrázek 21 Jevy vysvětlené díky vlnově-korpuskulárnímu dualismu

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 5)

Zdroj: Vlastní výzkum

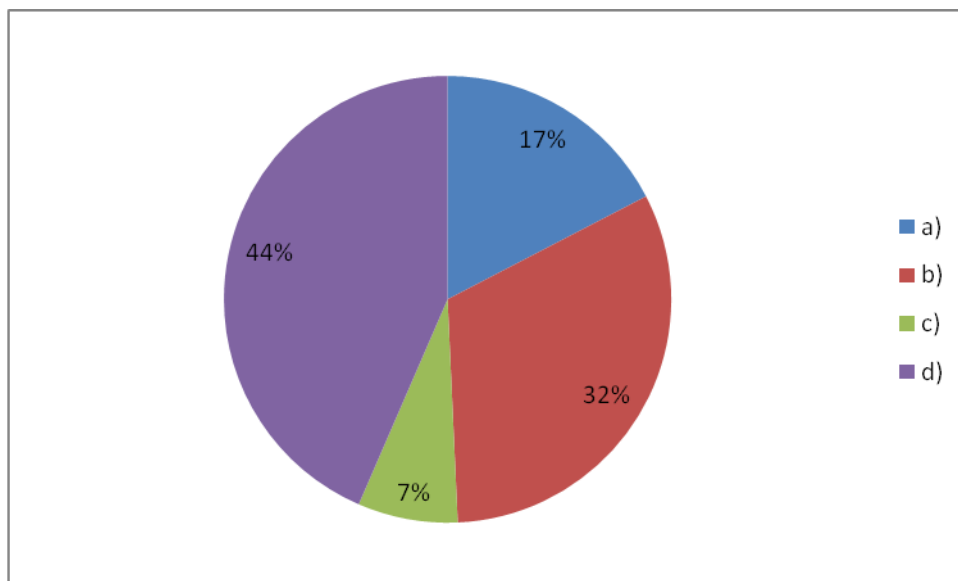
Graf znázorňující odpověď na otázku, které jevy byly vysvětleny díky vlnově-korpuskulárnímu dualismu. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo správnou odpověď *a) Fotoelektrického jevu a Comptonova jevu (rozptylu)* 37 respondentů (54%). Možnost *b) Fotoelektrického jevu a obráceného anihilačního jevu* zvolilo 12 respondentů (17%), možnost *c) Comptonova jevu a anihilačního jevu* označilo 12 respondentů (17%) a možnost *d) Anihilačního jevu a fotoelektrického jevu* vybralo 8 respondentů (12%).



Obrázek 22 Role vlnově-korpuskulárního dualismu u mimořádných událostí
(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 6)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, která zjišťovala, u kterých mimořádných událostí hraje svou roli vlnově-korpuskulární dualismus. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) vybralo možnost *a) Sociogenních, technogenních a ekonomických* 12 respondentů (18%), možnost *b) Biotických, kosmogenních a abiotických* 16 respondentů (23%). Správnou odpověď možnost *c) Kosmogenních a technogenních* zvolilo 32 respondentů (46%), možnost *d) Biotických a abiotických* označilo 9 respondentů (13%).

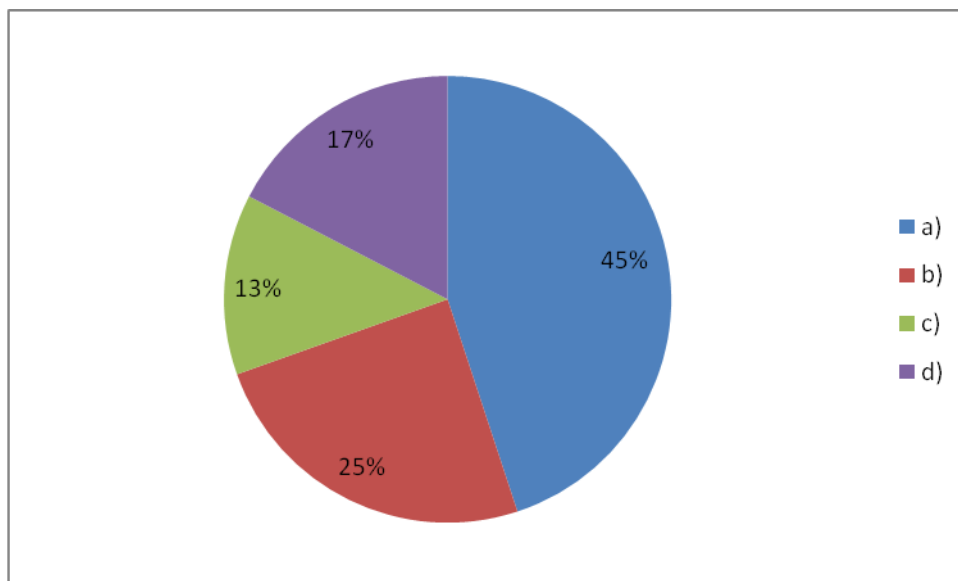


Obrázek 23 Elektrický náboj cumulonimbu

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 7)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku týkající se náboje bouřkového mraku neboli cumulonimbu. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo možnost *a) Má kladný náboj* 12 respondentů (17%), možnost *b) Jeho náboj je záporný* označilo 22 respondentů (32%) a možnost *c) Nemá žádný náboj (tj. neutrální náboj)* 5 respondentů (7%). Správnou odpověď, možnost *d) Tvoří tzv. dipól*, zvolilo 30 respondentů (44%).

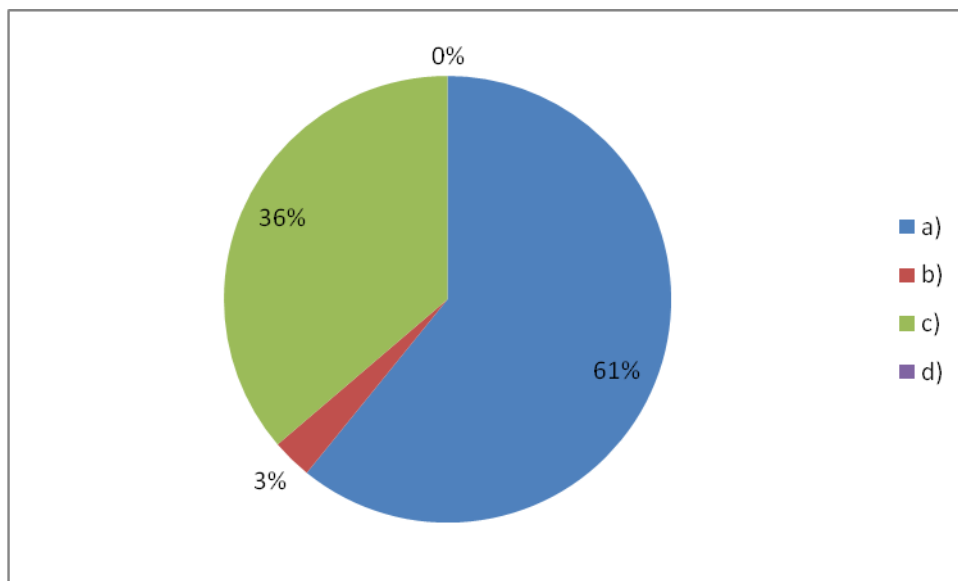


Obrázek 24 Vznik hromu

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 8)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, jak vzniká hrom. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo správnou odpověď *a) Rozpínáním plazmatu do okolí* 31 respondentů (45%). Možnost *b) Srážkou dvou bouřkových mraků* zvolilo 17 respondentů (25%), možnost *c) Samostatně, nezávisle na blesku* 9 respondentů (13%) a možnost *d) Akustickým pohybem mraků* 12 respondentů (17%).

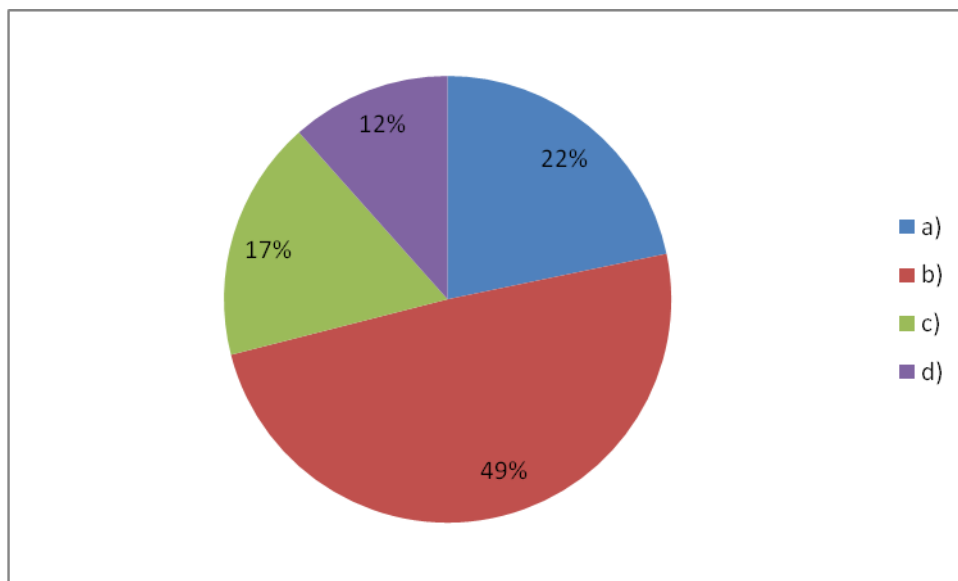


Obrázek 25 Palivo jaderných elektráren

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 9)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, co je palivem jaderných elektráren. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo správnou odpověď, možnost *a) Uran 235*, 42 respondentů (61%). Možnost *b) Rozpadová řada* zvolili 2 respondenti (3%), možnost *c) Uran 238* vybralo 25 respondentů (36%) a možnost *d) Tepelný efekt* nebyla vybrána žádným z respondentů (0%).

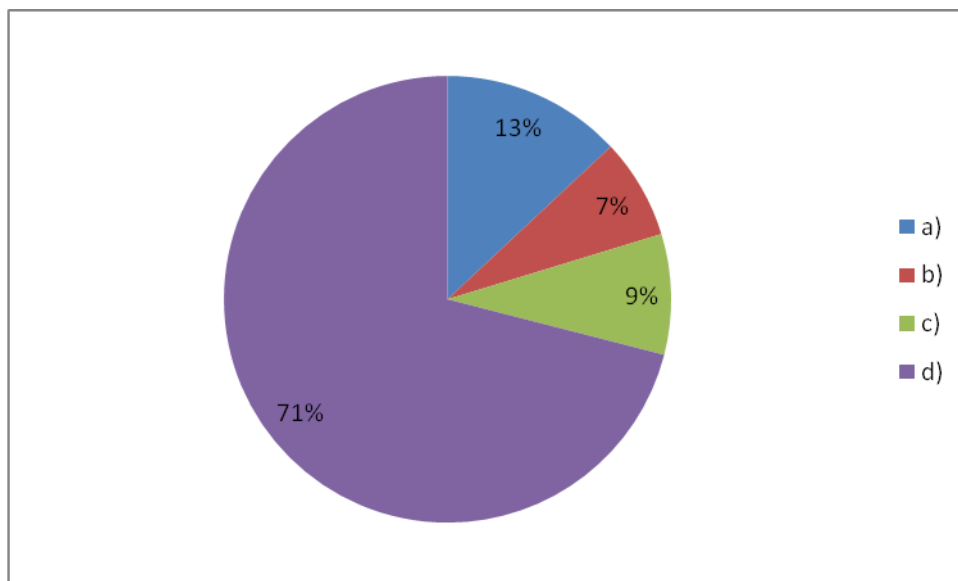


Obrázek 26 Částice užívané v jaderných elektrárnách ke štěpení uranu

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 10)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku jakými částicemi je štěpen uran v jaderných elektrárnách. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) vybralo možnost *a) Protony* 15 respondentů (22%). Správně zvolilo možnost *b) Neutrony* 34 respondentů (49%). Možnost *c) Elektrony* označilo 12 respondentů (17%) a možnost *d) Pozitrony* vybralo 8 respondentů (12%).

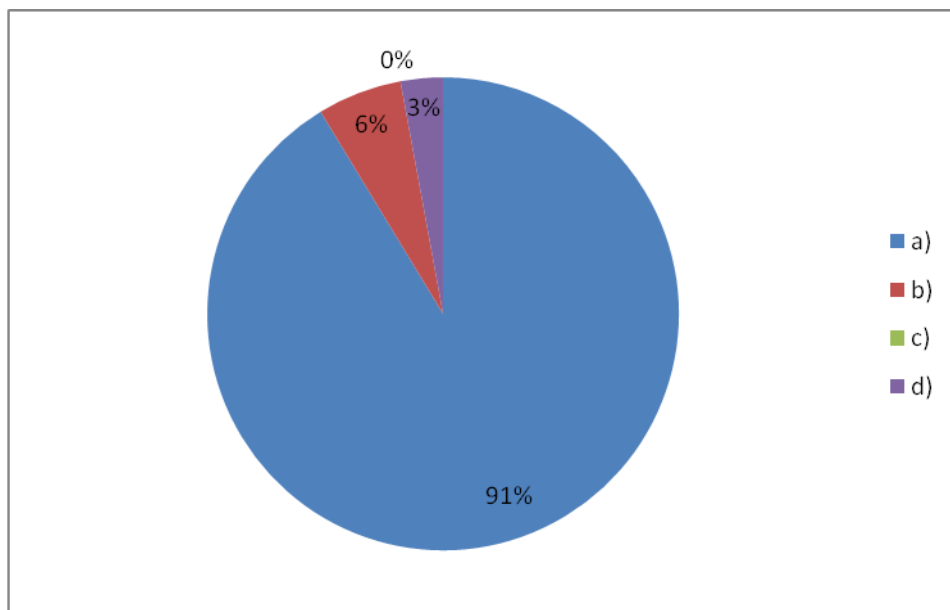


Obrázek 27 Nejnebezpečnější záření emitované jaderným odpadem z jaderných elektráren

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 11)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, jaké nejnebezpečnější záření je emitováno jaderným odpadem vzniklým při štěpení uranu v jaderných elektrárnách. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo možnost a) *Záření alfa (jádra He)* 9 respondentů (13%), možnost b) *Záření beta plus (pozitrony)* 5 respondentů (7%), možnost c) *Záření beta minus (elektrony)* 6 respondentů (9%) a správnou odpověď d) *Záření gama (fotony)* označilo 49 respondentů (71%).

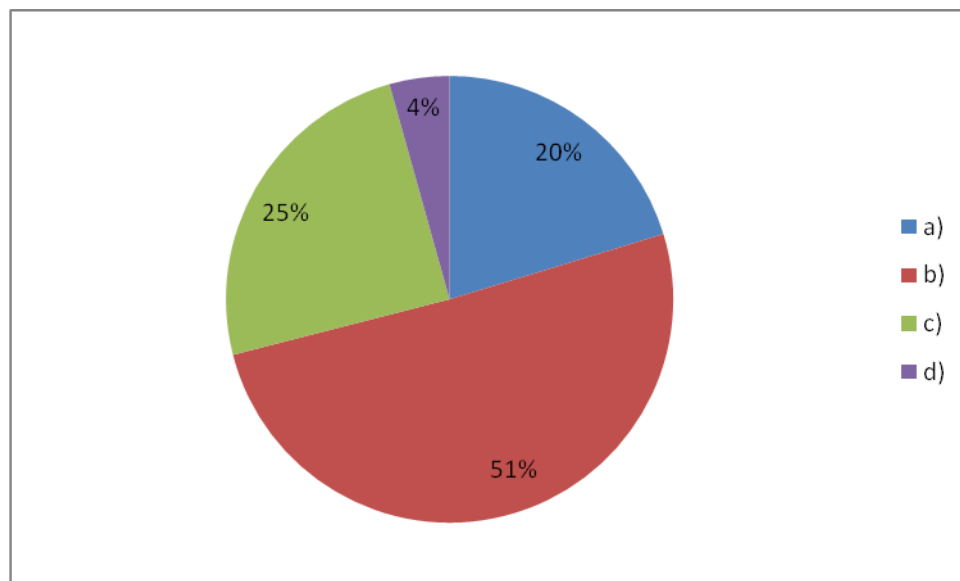


Obrázek 28 Počet jaderných elektráren na území České republiky

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 12)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, kolik jaderných elektráren se nachází na území České republiky. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) vybralo správnou odpověď, tedy možnost *a) 2 jaderné elektrárny* 63 respondentů (91%). Možnost *b) 3 jaderné elektrárny* označili 4 respondenti (6%), možnost *c) 4 jaderné elektrárny* neoznačil nikdo z respondentů (0%) a možnost *d) Jen mimojaderné zdroje energie* zvolili 2 respondenti (3%).

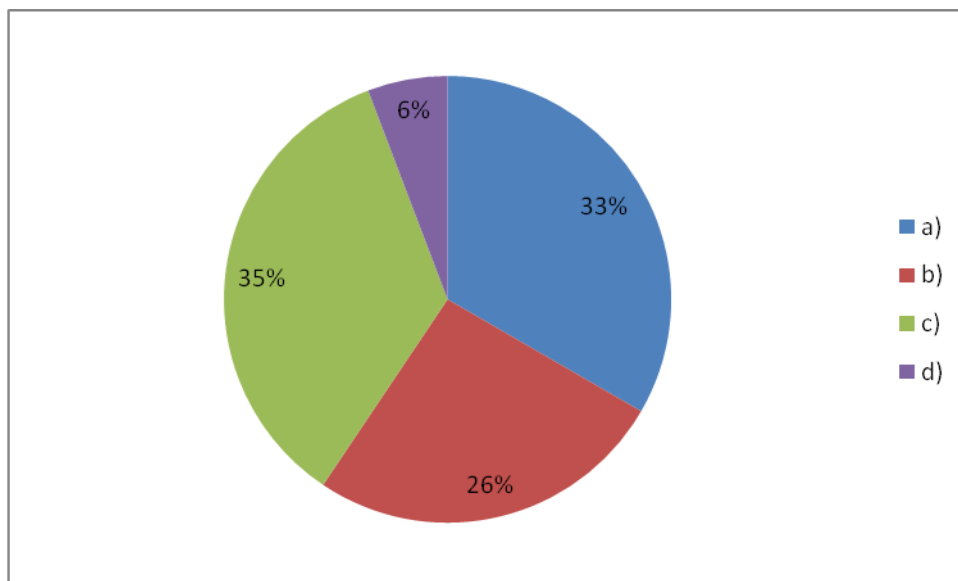


Obrázek 29 Zápis radioaktivní přeměny beta minus

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 13)

Zdroj: Vlastní výzkum

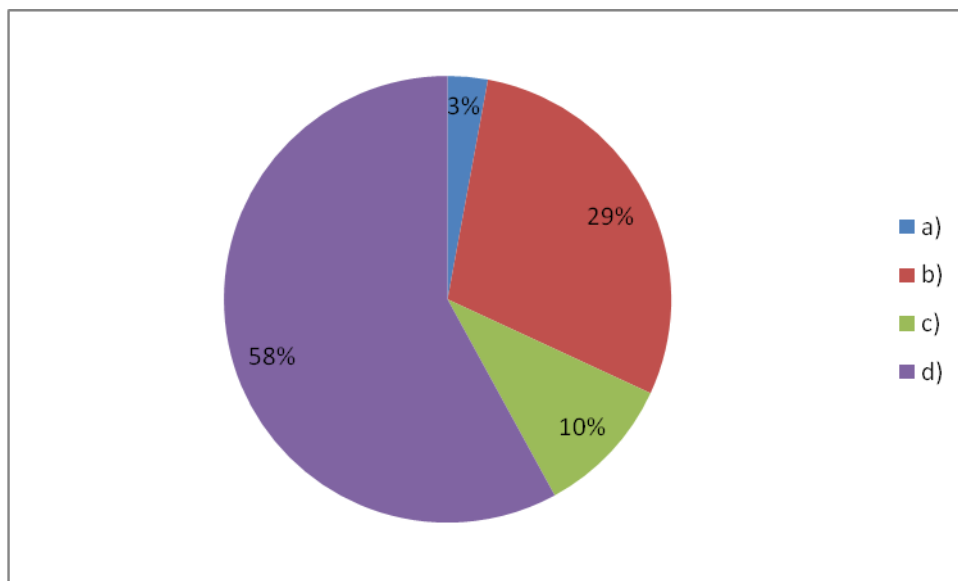
Graf znázorňující odpověď na otázku, která z rovnic je zápisem pro radioaktivní přeměnu beta minus. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo možnost a) ${}^A_ZX \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{A-4}_{Z-2}Y$ 14 respondentů (20%), možnost b) ${}^A_ZX \rightarrow {}^0_{-1}e + {}^A_{Z+1}Y$, která je správnou odpovědí označilo 35 respondentů (51%), možnost c) ${}^A_ZX \rightarrow {}^0_{+1}e + {}^A_{Z-1}Y$ vybralo 17 respondentů (25%) a možnost d) *Rovnici nelze explicitně zapsat* označili 3 respondenti (4%).



Obrázek 30 Nejvýznamnější jevy při průchodu gama/rtg záření prostředím
(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 14)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, které jevy jsou nejvýznamnější při průchodu gama/rtg záření prostředím. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo možnost a) *Fotoelektrický jev, anihilační jev, obrácený anihilační jev* 23 respondentů (33%), možnost b) *Comptonův jev, obrácený fotoelektrický jev, anihilační jev* zvolilo 18 respondentů (26%). Správnou odpověď c) *Obrácený anihilační jev, Comptonův jev, fotoelektrický jev* vybralo 24 respondentů (35%) a možnost d) *Obrácený fotoelektrický jev, obrácený anihilační jev, Comptonův jev* označili 4 respondenti (6%).

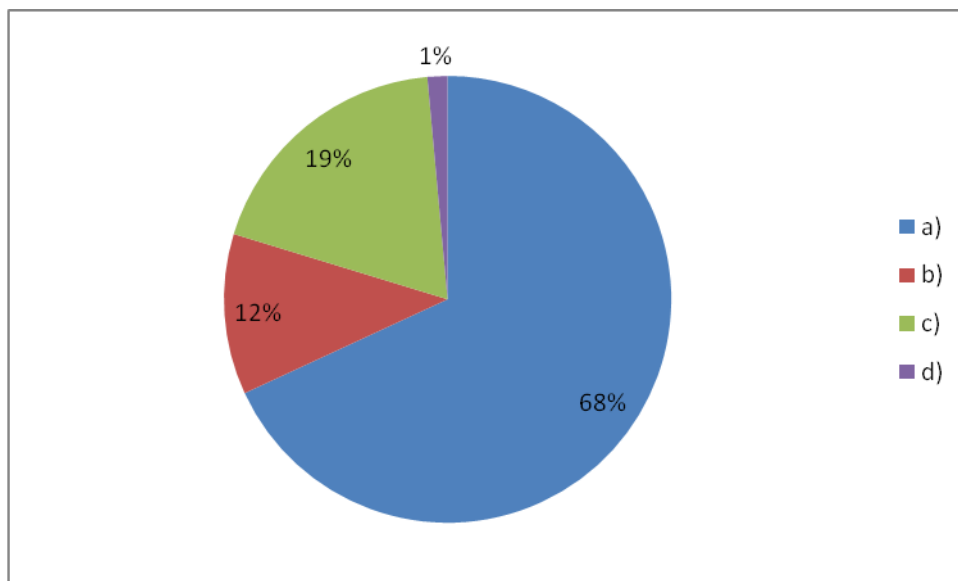


Obrázek 31 Změna aktivity radionuklidu s přibývajícím časem

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 15)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, jak se dle rozpadového zákona mění aktivita radionuklidu s přibývajícím časem. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) vybrali možnost *a) Lineárně roste* 2 respondenti (3%), možnost *b) Lineárně klesá* 20 respondentů (29%), možnost *c) Exponenciálně roste* 7 respondentů (10%) a možnost *d) Exponenciálně klesá*, která je správnou odpovědí označilo 40 respondentů (58%).

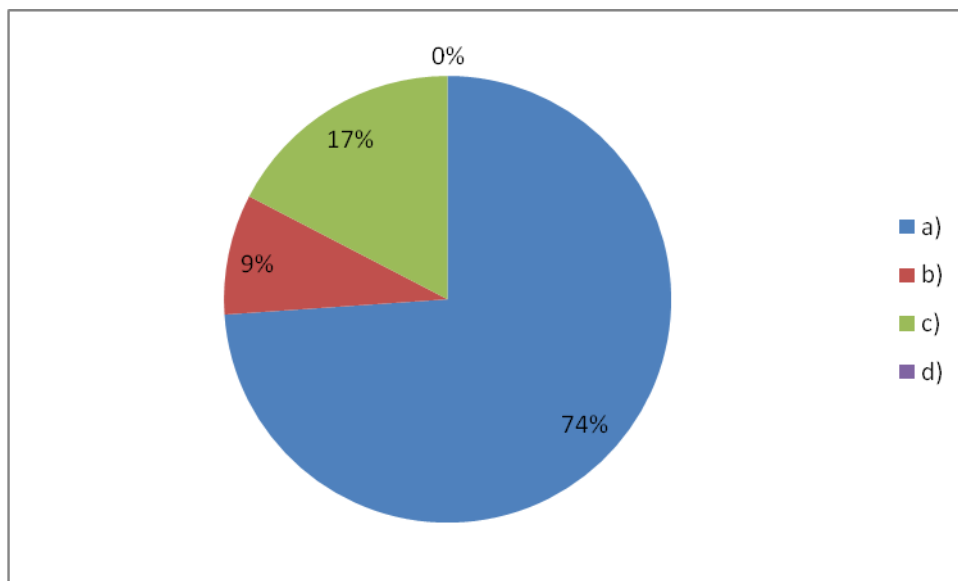


Obrázek 32 Čas rovnosti množství mateřských a dceřinných prvků

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 16)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, v jakém čase je množství mateřských a dceřinných prvků shodné. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) zvolilo možnost *a*) $t = \frac{1}{2} T$ 47 respondentů (68%), správnou odpověď *b*) $t = T$ označilo 8 respondentů (12%), možnost *c*) $t = 2T$ zvolilo 13 respondentů (19%) a možnost *d*) $t = 3T$ označil 1 respondent (1%).

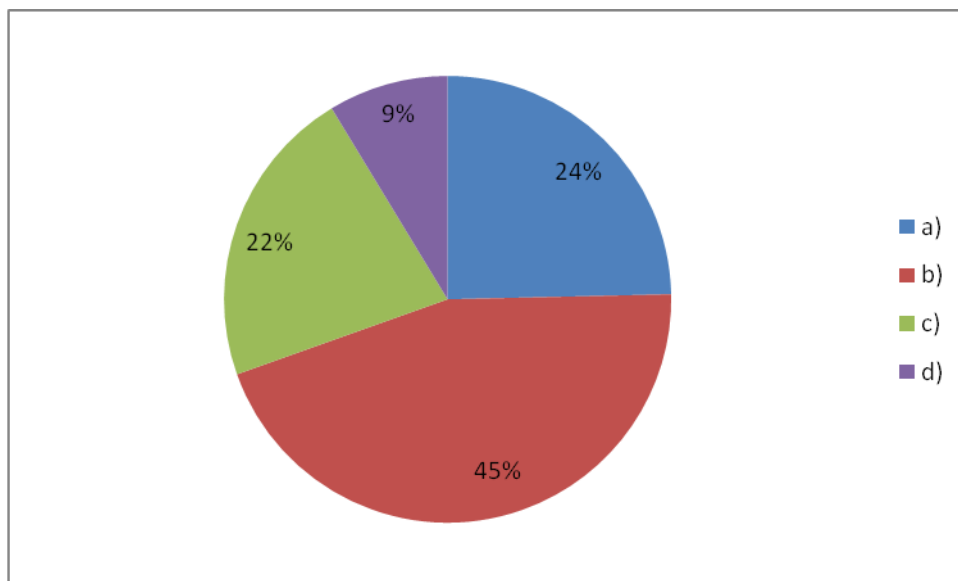


Obrázek 33 Polovrstva

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 17)

Zdroj: Vlastní výzkum

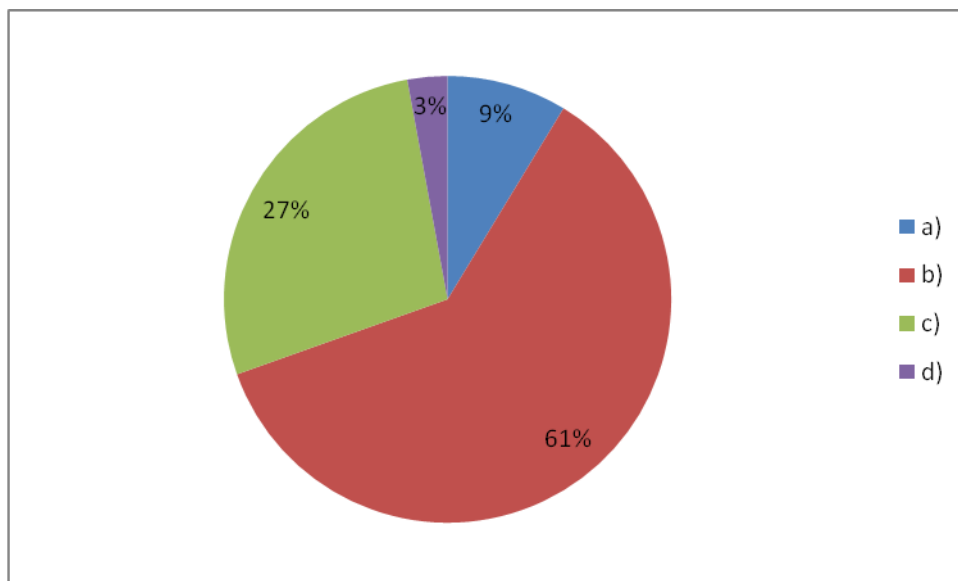
Graf znázorňující odpověď na otázku týkající se polovrstvy, na jakou hodnotu zeslabí intenzitu původního záření. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo správnou odpověď neboli možnost *a) 1/2* 51 respondentů (74%), možnost *b) 1/3* pak označilo 6 respondentů (9%), možnost *c) 1/4* 12 respondentů (17%) a možnost *d) 1/5* nebyla vybrána žádným z respondentů (0%).



Obrázek 34 Rychlost elektronu vyraženého při fotoelektrickém jevu vůči fotonu
(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 18)

Zdroj: Vlastní výzkum

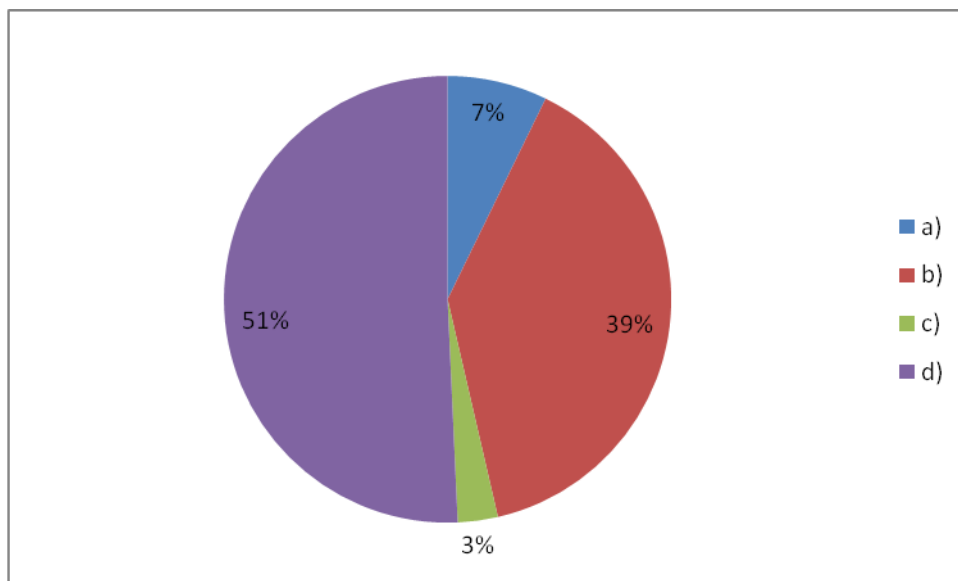
Graf znázorňující odpověď na otázku, jaká je rychlost elektronu vyraženého při fotoelektrickém jevu v porovnání s rychlostí fotonu, který tento jev způsobil. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) zvolilo možnost *a) Větší* 17 respondentů (24%), možnost *b) Menší*, která je správnou odpovědí, 31 respondentů (45%), možnost *c) Shodná* vybralo 15 respondentů (22%) a možnost *d) Nulová* označilo 6 respondentů (9%).



Obrázek 35 Počet složek absorpčního koeficientu při interakci rtg/gama záření
(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 19)

Zdroj: Vlastní výzkum

Graf znázorňující odpověď na otázku, kolika složkami je tvořen absorpční koeficient při interakci elektromagnetického záření rtg a gama záření s prostředím. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) vybralo možnost *a) Jednou složkou* 6 respondentů (9%), možnost *b) Dvěmi složkami* 42 respondentů (61%). Správnou odpověď *c) Třemi složkami* označilo 19 respondentů (27%). Možnost *d) Čtyřmi složkami* vybrali 2 respondenti (3%).



Obrázek 36 Změna intenzity záření se zvětšením vzdálenosti od zdroje

(procentuální zastoupení odpovědí k otázce 20)

Zdroj: Vlastní výzkum

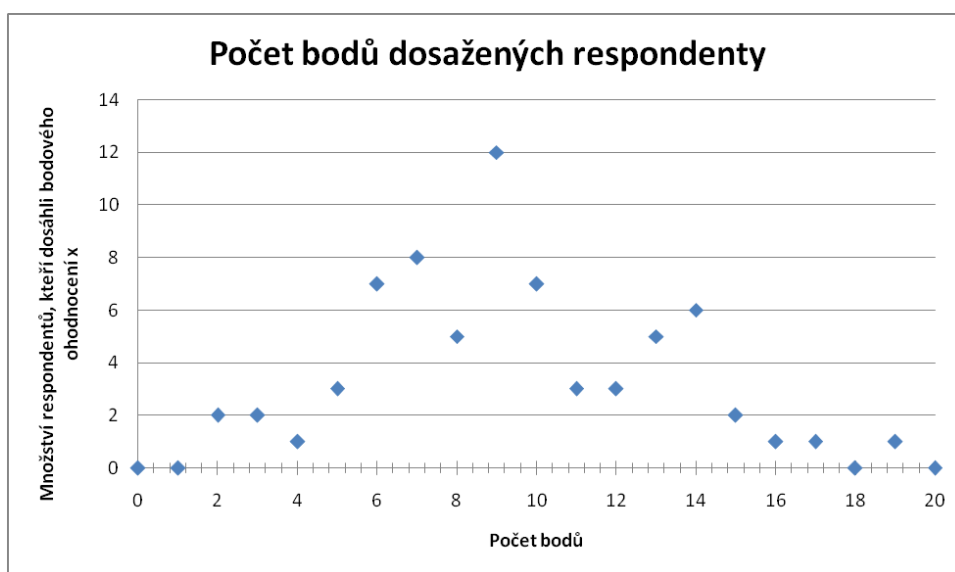
Graf znázorňující odpověď na otázku, kolikrát klesne intenzita záření v místě, zvětší-li se jeho vzdálenost od zdroje dvojnásobně. Z celkového počtu 69 respondentů (100%) označilo možnost *a) 1x* celkem 5 respondentů (7%), možnost *b) 2x* zvolilo 27 respondentů (39%), možnost *c) 3x* označili 2 respondenti (3%). Správnou odpověď, možnost *d) 4x*, zvolilo 35 respondentů (51%).

6 Diskuze

V rámci konceptuálního kurikula bylo dosaženo vysvětlení propojení mezi fyzikálním světem a ochranou obyvatelstva. Teorií propojující tyto dvě odlišná odvětví je obecněji pojatý Bohrov princip komplementarity (nejen princip doplňkovosti reprezentovaný vlnově-korpuskulárním dualismem, který spojuje dva původně neslučitelné pojmy - částice a vlna, ale také Heisenbergovy relace neurčitosti). Dále bylo předloženo odvození Heisenbergových relací neurčitosti. Fyzikální dimenzi mimořádných událostí (vlnově-korpuskulární dualismus) a odvození Heisenbergových relací neurčitosti přizpůsobených znalostem a schopnostem studentů nefyzikálního oboru, kterým je ochrana obyvatelstva, lze považovat za akceptovatelná, jelikož statistické šetření vedlo k výsledkům vyjádřených normálním rozdělením. Jako adekvátní výsledky v rámci plnění cílů diplomové práce lze považovat také výsledky projektového kurikula (edukační text) a implementovaného kurikula-1 (edukační test). Statistické šetření znalostí studentů oboru ochrana obyvatelstva a oborů příbuzných, jejichž absolventy lze nazvat odborníky v oblasti ochrany obyvatelstva prokázalo, že lze přijmout nulovou hypotézu neparametrického testování Pearsonova χ^2 -testu. Ta předpokládala (v souladu s implementovaným kurikulem-2), že empirické rozdělení znalostí studentů bude možné nahradit teoretickým normálním rozdělením vyjádřeným Gaussovo křivkou. Přijetím této hypotézy byla potvrzena druhá hypotéza této práce, která zněla: „*Znalosti budoucích odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva budou mít z hlediska role principu komplementarity v rámci jejich přípravy teoretické rozdělení blízké normálnímu*“. Teoretickým normálním rozdělením se rozumí takové rozdělení, kdy je nejvyšší počet (pravděpodobnost) průměrných výsledků nejvyšší, nižší a vyšší bodové ohodnocení jsou spojeny s nižšími pravděpodobnostmi výskytu. K přijetí nulové hypotézy aparátu neparametrického testování je nezbytné, aby experimentální hodnota testového kritéria nebyla prvkem kritického oboru. Výsledek vypovídající o normálním rozdělení znalostí studentů lze potvrdit výpočtem empirických parametrů, zejména normovaného momentu čtvrtého řádu (parametru špičatosti) vyjadřujícím míru špičatosti a s ním spojeného excesu. Vypočtená hodnota špičatosti a excesu byla jen nepatrně menší než hodnoty ideální Gaussovy křivky.

Potvrzení druhé hypotézy této práce znamená především i skutečnost, že fyzikální dimenze mimořádných událostí, dílčí části i edukační text vytvořený pro studenty byly přiměřené jejich schopnostem - došlo k potvrzení první hypotézy této práce o aplikabilitě kurikulárního procesu: „*Pomocí etap kurikulárního procesu lze vytvořit v rámci kvantitativního výzkumu edukační základ role principu komplementarity*“. Potvrzením této hypotézy je nejen vzniklý edukační text (edukační základ) principu komplementarity, ale také potvrzená normalita šetření výsledků aplikace edukačního textu.

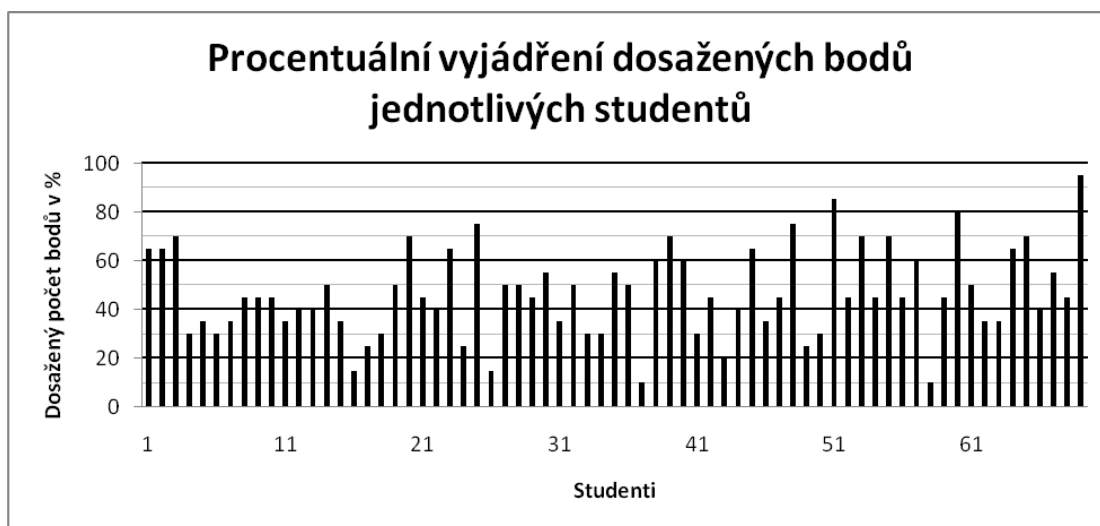
Ačkoliv bylo dosaženo příznivého výsledku z hlediska nahraditelnosti empirického rozdělení četností rozdělením normálním, nelze se s ním zcela spokojit. Gaussovo rozdělení nevyjadřuje bližší (podrobnější) analýzy. Je zapotřebí věnovat pozornost faktu, v jakém bodovém rozložení bylo dosaženo Gaussova rozdělení. Maximální počet bodů, který mohl respondent získat, bylo 20 bodů. Tohoto výsledku nedosáhl ani jeden z respondentů. Rozsah získaných bodů se pohyboval od 2 bodů do 19 bodů. Na následujícím grafu (Obrázek 37) je vyjádřen na ose x počet bodů získaných respondenty a na ose y počet respondentů, kteří tohoto výsledků dosáhli.



Obrázek 37 Počet bodů dosažených studenty

Zdroj: Vlastní výzkum

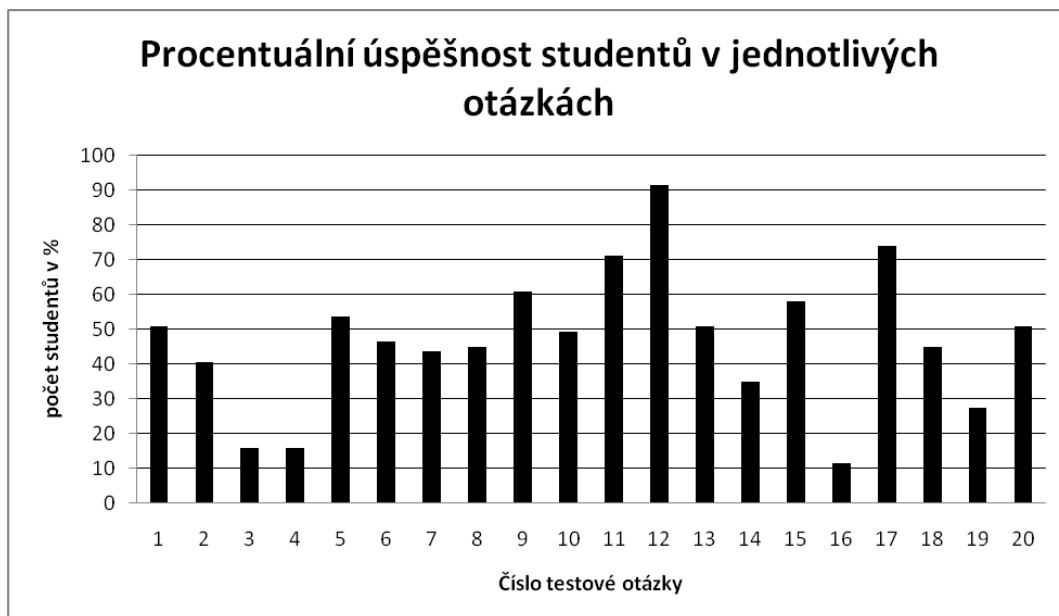
Z grafu je patrné, že nejnižším dosaženým výsledkem jsou 2 body získané dvěma respondenty a nejvyšší počtem dosažených bodů je 19, který byl získán pouze jedním studentem. Nejvíce studentů v testu získalo 9 bodů v blízkosti poloviny maximálního počtu. Trochu lépe možná vysvětluje naznačovanou problematiku další z grafů (Obrázek 38), který znázorňuje procentuální vyjádření dosažených bodů jednotlivých studentů.



Obrázek 38 Procentuální vyjádření dosažených bodů jednotlivých studentů

Zdroj: Vlastní výzkum

Při aplikaci kritéria užívaného na vysokých školách, které vyžaduje k úspěšnému složení zkoušky zisku alespoň 70% bodů z maximálního počtu, v tomto případě alespoň 14 bodů, splňuje tuto podmínku 11 studentů (16%) - aplikabilita obecně pojatého principu komplementarity v oblasti ochrany obyvatelstva ovšem nevytváří celistvý základ pro složení zkoušky, je jen dílčí částí. Jelikož bylo dosaženo velmi průměrných výsledků v oblasti úspěšnosti studentů, je důležité zabývat se těmi otázkami, kde byla úspěšnost studentů nejmenší a zlepšit v těchto oblastech výuku. Procentuální úspěšnost studentů v jednotlivých otázkách je znázorněna na následujícím grafu (Obrázek 39).



Obrázek 39 Procentuální úspěšnost studentů v jednotlivých otázkách

Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu jsou patrné především 4 otázky, u nichž nebyla úspěšnost ani 30%, tj.:

- 3) Výsledkem Heisenbergových relací neurčitosti (neurčitost polohy a hybnosti, neurčitost energie a času) je vždy ...
- 4) Vlnově-korpuskulární dualismus vyjadřuje ...
- 16) Množství mateřských a dceřinných prvků je rovno v čase ...
- 19) Absorpční koeficient při interakci elektromagnetického záření rtg a gama záření s prostředím je tvořen ... složkami

Nečekaným zjištěním se stala neúplná znalost definice vlnově-korpuskulárního dualismu, jejíž znalost byla prověřována otázkou č. 3. Z koláčového diagramu k této otázce je patrné, že studenti mají jen dílčí ponětí o dvojitým charakteru částice i vlny (studenti nejčastěji volili možnost *c*) *Foton i částice mohou mít jak částicový tak i vlnový charakter zároveň*, která se od správné odpovědi liší v tom, že tyto vlastnosti nemohou být z hlediska obecně pojatého principu komplementarity zkoumány současně). Za chybné zodpovězení této otázky stojí s největší pravděpodobností

vzdělávací systém na většině škol - vlny i částice jsou probírány vždy jako samostatné kapitoly.

Ačkoliv bylo dosaženo potvrzení obou hypotéz diplomové práce, výsledky a bližší analýzy odpovědí studentů ukázaly oblasti, v nichž by se měla zkvalitnit fyzikální příprava.

7 Závěr

Závěrem lze shrnout dosažené výstupy kvantitativního výzkumu ve vazbě na aplikaci metod logických, empirických a metod šetření datových souborů.

V oblasti aplikace metod logických a empirických lze stručně připomenout aplikabilitu teorie kurikulárního procesu. V rámci konceptuálního kurikula bylo dosaženo vysvětlení propojení mezi obecněji pojatým principem komplementarity (především z hlediska fyziky a také jeho filozofických důsledků) a ochranou obyvatelstva. Teorií propojující tyto dvě odlišná odvětví je obecněji pojatý princip komplementarity (platí nejen ve fyzice - mezi komplementární dvojice pojmů patří např. analýza, syntéza nebo věda, umění) a pak speciálně Bohrovův princip komplementarity propojující nejen vlnově-korpuskulární dualismus, ale také Heisenbergovy relace neurčitosti. Fyzikální dimenze mimořádných událostí (vlnově-korpuskulární dualismus, Heisenbergovy relace neurčitosti) byla přizpůsobena možnostem a potřebám studentů nefyzikálního oboru, kterým je ochrana obyvatelstva (zamýšlené kurikulum). Vytvořené zamýšlené kurikulum lze považovat za akceptovatelné, neboť statistické šetření vedlo k výsledkům vyjádřených normálním rozdělením. Jako adekvátní výsledky v rámci plnění cílů diplomové práce lze považovat také výsledky projektového kurikula (edukační text) a implementovaného kurikula-1 a implementovaného kurikula-2 (edukační test a jeho aplikace).

V rámci metod šetření datových souborů tvořených znalostmi studentů oboru ochrana obyvatelstva a oborů příbuzných (jejich absolventy lze nazvat odborníky v oblasti ochrany obyvatelstva) prokázalo, že lze přijmout nulovou hypotézu neparametrického testování Pearsonova χ^2 -testu. Ta předpokládala (v souladu s implementovaným kurikulem-2), že empirické rozdělení znalostí studentů bude možné nahradit teoretickým normálním rozdělením vyjádřeným Gaussovo křivkou. Vedle metod deskriptivní statistiky byly úspěšně aplikovány metody matematické statistiky (především neparametrické testování).

Na základě popsaných výstupů kvantitativního výzkumu byla potvrzena druhá hypotéza této práce, která zněla: *„Znalosti budoucích odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva budou mít z hlediska role principu komplementarity v rámci jejich přípravy teoretické rozdělení blízké normálnímu“*.

Potvrzení druhé hypotézy ukázalo, že použité části teorie kurikulárního procesu vedly k výstupům, které byly přiměřené možnostem a potřebám respondentů - došlo k potvrzení první hypotézy této práce o aplikabilitě kurikulárního procesu v oblasti zkoumané oblasti vědního oboru „Ochrana obyvatelstva“: *„Pomocí etap kurikulárního procesu lze vytvořit v rámci kvantitativního výzkumu edukační základ role principu komplementarity“*. Potvrzením této hypotézy je nejen vzniklý edukační text (edukační základ) principu komplementarity, ale také potvrzená normalita šetření výsledků aplikace edukačního textu.

8 Seznam literatury

Knížní publikace

- 1) BEISER, Arthur. 1975. *Úvod do moderní fyziky*. Praha: Academia.
- 2) BENEŠ, Jiří, Daniel JIRÁK a František VÍTEK. 2015. *Základy lékařské fyziky*. 4. vydání. V Praze: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-2645-1.
- 3) GRYGAR, Filip. 2014. *Komplementární myšlení Nielse Bohra v kontextu fyziky, filosofie a biologie*. Červený Kostelec: Pavel Mervart. ISBN 978-80-7465-113-7.
- 4) HEISENBERG, Werner. 2000. *Fyzika a filosofie*. 2., přehlednuté vyd. Praha: Aurora. ISBN 80-85974-91-6.
- 5) KUNA, Pavel, Leoš NAVRÁTIL a kolektiv. 2005. *Klinická radiobiologie*. Praha: Manus. ISBN 80-86571-09-2.
- 6) LÍBAL, Libor, Jiří PATOČKA, Helena ZÁŠKODNÁ a Přemysl ZÁŠKODNÝ. 2017. *Vybrané kapitoly dějin vědy*. Praha: CURRICULUM. ISBN 978-80-87894-16-3.
- 7) MARTIŠOVITŠ, Viktor. 2004. *Základy fyziky plazmy: učebný text pre magisterské štúdium*. Bratislava: Vydavateľstvo UK. ISBN 802231983X.
- 8) McGRATH, Alister E. 2003. *Dialog přírodních věd a teologie*. Praha: Vyšehrad. ISBN 80-7021-552-6.
- 9) PODGORŠAK, E. B. 2005. *Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students*. Vienna: International Atomic Energy Agency. ISBN 92-0-107304-6.
- 10) PRŮCHA, P. 2013. *Moderní pedagogika*. Praha: Portál. ISBN 978-80-262-0456-5.

- 11) RAKOV, Vladimír A. a Martin A. UMAN. 2006. *Lightning: physics and effects*. Cambridge, U.K: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-03541-5.
- 12) ROSINA, Jozef. 2013. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4237-3.
- 13) ROSINA, Jozef a Leoš NAVRÁTIL, ed. 2000. *Lékařská biofyzika*. Praha: Manus, 2000. ISBN 80-902318-5-3.
- 14) SKALSKÁ, Květoslava, Zdeněk HANUŠKA a Milan DUBSKÝ. 2010. *Integrovaný záchranný systém a požární ochrana: modul I*. Praha: MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 978-80-86640-59-4.
- 15) ŠVEC, Jiří. 2005. Radioaktivita a ionizující záření: doplňující učební text pro předměty Bakalářská fyzika, Aplikovaná fyzika, Ochrana před zářením. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 80-866-3462-0.
- 16) VALLABHAJOSULA, Shankar. 2009. *Molecular imaging: radiopharmaceuticals for PET and SPECT*. New York: Springer-Verlag. ISBN 978-3-540-76734-3.
- 17) ZÁŠKODNÝ, Přemysl. 2005. *Přehled základů teoretické fyziky: (s aplikací na radiologii)*. Bratislava: DIDAKTIS. ISBN 80-89160-25-5.
- 18) ZÁŠKODNÝ, Přemysl. 2009. *Kurikulární proces fyziky (s přehledem základů teoretické fyziky)*. Ostrava: ALGORITMUS. ISBN 978-80-902491-0-3.
- 19) ZÁŠKODNÝ, Přemysl, Renata HAVRÁNKOVÁ, Jiří HAVRÁNEK a Vladimír VURM. 2016. *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)*. Praha, Czech Republic: Curriculum. ISBN 978-80-87894-12-5.

Článek v časopise

- 20) 250 let hromosvodu Prokopa Diviše. 2004. *Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku*. Praha: FCC PUBLIC, **14**(10). ISSN 1210-0889.

Dokumenty

- 21) Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a změně některých zákonů, 2000. [cit. 2017-04-29]. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 73, s. 3421.
- 22) Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), 2000. [cit. 2017-05-10]. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 73, s. 3477-3478.
- 23) Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, 2016. [cit. 2017-09-30]. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 102, s. 3941.
- 24) Vyhláška č. 246/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva vnitra o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci), 2001. [cit. 2017-04-30]. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 95, s. 5447.
- 25) Vyhláška Ministerstva vnitra č. 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému, 2001. [cit. 2018-01-10]. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 127, s. 7456-7457.
- 26) Vyhláška č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události, 2016. [cit. 2018-01-06]. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 143, s. 5615.
- 27) Vyhláška č. 377/2016 Sb., o požadavcích na bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a o vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie, 2016. [cit. 2017-09-30]. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 151, s. 5979.

Elektronické zdroje

- 28) Backgrounder on Chernobyl Nuclear Power Plant Accident. 2014. NRC: *HomePage* [online]. [cit. 2017-06-09]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/chernobyl-bg.html>

- 29) Bleskozvody. ©2013. *JEEL: odborné revízie elektrických zariadení* [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://jeel.sk/bleskozvod>
- 30) BRABEC, P. a F. BARTŮNĚK. FYZIKA 007. *Foton a jeho vlastnosti* [online]. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/fyzika-mikrosveta/foton-a-jeho-vlastnosti>
- 31) BUREŠ, Jiří. ©2002. Werner Karl Heisenberg. *ConVERTER* [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/fyzici/heisenberg.htm>
- 32) Chernobyl: Sequence of Events, 2009. *World Nuclear Association* [online]. [cit. 2017-06-10]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/appendices/chernobyl-accident-appendix-1-sequence-of-events.aspx>
- 33) Definice plazmatu. 2012 *Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i* [online]. 2012 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/html/climaero/topics/iono/definice.html>
- 34) DUFKOVÁ, Marie. ©1999. Surovina nebo odpad. *Jaderná energie: Encyklopedie energetiky* [online]. [cit. 2017-11-22]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/mezisklad.html>
- 35) Fukushima Accident. 2017. *World Nuclear Association* [online]. [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-accident.aspx>
- 36) GRYGAR, Filip. 2011. Complementarity of the Calculative and Qualitative Description. *Teorie vědy / Theory of Science* [online]. Centre for Science, Technology, and Society Studies at the Institute of Philosophy: Academy of Sciences of the Czech Republic, 2011, (2), s. 271-297 [cit. 2017-04-14]. ISSN 1804-6347. Dostupné z: <http://teorievedy.flu.cas.cz/index.php/tv/article/viewFile/95/116>

- 37) GRYGAR, Filip a Patrik ČERMÁK. ©2012-2017 *Idea komplementarity: Niels Bohr* [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <https://nielsbohr.webnode.cz/idea-komplementarity/>
- 38) Jaderná energetika v ČR. ©2017. *O společnosti | Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/je-v-cr.html>
- 39) HOŘÁK, J. 2017. Krokové napětí. *Jilové u Hodkovic nad Mohelkou* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.hodkovice.cz/stranky/krok.html>
- 40) International Nuclear and Radiological Event Scale (INES). ©2017. *International Atomic Energy Agency | Atoms for Peace and Development* [online]. [cit. 2017-09-15]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/topics/emergency-preparedness-and-response-epr/international-nuclear-radiological-event-scale-ines>
- 41) Jak funguje jaderná elektrárna | Jaderná energetika, ©2017. *Skupina ČEZ: O společnosti* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/interaktivni-model-je-jak-funguje-jaderka.html>
- 42) KOPÁČEK, Petr. ©2017 Jak se chovat během bouřky a jak ochránit obydlí před úderem blesku. *Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/jak-se-chovat-behem-bourky-a-jak-ochranit-obydli-pred-uderem-blesku.aspx>
- 43) KRŮŽ, Miloš. 2016. Základní rozdělení mimořádných událostí. *Hradec Králové: oficiální stránky statutárního města* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <https://www.hrdeckralove.org/urad/zakladni-rozdeleni-mimoradnych-udalosti>
- 44) KULHÁNEK, Petr. 2011. Vznik blesků. *Aldebaran homepage* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/zvuky/blyskani/docs/07.html>

- 45) KUSALA, Jaroslav. 2003. Blesky a hromy. *Elektrina: Miniencyklopedie* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/zaj2.htm>
- 46) KUSALA, Jaroslav, 2004a. Jaderná elektrárna. *Jaderná energetika: Miniencyklopedie* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k33.htm>
- 47) KUSALA, Jaroslav. 2004b. Jaderný reaktor. *Jaderná energetika: Miniencyklopedie* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k35.htm>
- 48) McVEIGH, Ryan. 2015. How Lightning Forms. *UCAR Center for Science Education* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://scied.ucar.edu/webweather/thunderstorms/how-lightning-forms>
- 49) MEDUNA, Vladimír a Ctirad KOUDELKA. 2006. *Účinky elektrického proudu na lidský organizmus* [online]. Vysoká škola báňská - TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra obecné elektrotechniky [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred_ZEP/Ucinky%20el.%20proudu.pdf
- 50) ODBOR 03200. 2010. Statut Správy úložišť radioaktivních odpadů. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/jaderna-energetika/statut-spravy-ulozist-radioaktivnich-odpadu--80918/>
- 51) ODBOR ELEKTROENERGETIKY A TEPLÁRENSTVÍ, 2017. Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v České republice. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. [cit. 2018-01-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/2017/12/Koncepce-nakladani-s-RaO-a-VJP-v-CR.pdf>

- 52) Odbor krizového řízení a informatiky. 2018. *Úvod - SÚJB* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/krizove-rizeni/odbor-krizoveho-rizeni-a-informatiky/>
- 53) O SÚJB, 2018. *Úvod - SÚJB* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/uvod/>
- 54) PETR, Jaroslav. 2012. Je Fukušima srovnatelná s Černobylem?. *OSEL.CZ: Objective Source E-Learning* [online]. [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/6196-je-fukusima-srovnatelna-s-ernobylem.html>
- 55) Radioaktivní odpady a skupina ČEZ. 2016. *Svět Energie - Svět energie.cz* [online]. [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/radioaktivni-odpady-a-skupina-cez.pdf>
- 56) REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. 2008a. První Heisenbergova relace neurčitosti. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/735-prvni-heisenbergova-relace-neurcitosti#>
- 57) REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. 2008b. Druhá Heisenbergova relace neurčitosti. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/736-druha-heisenbergova-relace-neurcitosti>
- 58) REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. 2008c. Jaderná elektrárna. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/822-jaderna-elektrarna>
- 59) REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. 2016. Jaderné štěpení. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/818-jaderne-stepeni>

- 60) RUSSELL, Daniel A. 1996. Superposition of Waves. *Acoustics and Vibration Animations* [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/superposition/superposition.html>
- 61) RYZÍ, Lukáš. 2014. Černobylská havárie a její průběh. *Černobyl, černobylská havárie a černobylská zóna* [online]. [cit. 2017-06-09]. Dostupné z: <https://chernobylzone.cz/cernobylsky-experiment-a-prubeh-havarie/>
- 62) Vznik a vývoj havárie na jaderné elektrárně Fukushima Dai-ichi. 2012. *Úvod - SÚJB* [online]. [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/Fukusima/Vznikhavarie.pdf>
- 63) ZÁŠKODNÝ, P. 2012. Data Mining Tools in Science Education [PDF]., č. 10, s. 82-88 [cit. 2017-04-12]. ISSN 1690-4524 (GIF 0,562). Dostupné z: [http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/sci/pdfs/HMB711BO.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/sci/pdfs/HMB711BO.pdf)

9 Seznam příloh a obrázků

Seznam tabulek

Tabulka 1 Složení zkoumaného statistického souboru	55
Tabulka 2 Tabulka elementárního statistického zpracování	57
Tabulka 3 Tabulka vypočtených hodnot Pearsonova χ^2 -testu dobré shody	63
Tabulka 4 Tabulka splňující podmínky Pearsonova χ^2 -testu dobré shody	64

Seznam obrázků

Obrázek 1 Rubinova váza	14
Obrázek 2 Vznik vlnového klubka, ráz	16
Obrázek 3 Základní rozdělení mimořádných událostí	22
Obrázek 4 Vznik blesku	26
Obrázek 5 Schéma jaderné elektrárny	29
Obrázek 6 Mezinárodní stupnice k hodnocení závažnosti radiačních a radiologických událostí (INES)	34
Obrázek 7 Grafický průběh rozpadového zákona	36
Obrázek 8 Složení jaderného paliva před a po využití v jaderné elektrárně	38
Obrázek 9 Grafický průběh absorpčního zákona	39
Obrázek 10 Znázornění průběhu fotoelektrického jevu	40
Obrázek 11 Znázornění průběhu Comptonova jevu	41
Obrázek 12 Znázornění průběhu obráceného anihilačního jevu	42

Obrázek 13 Polygon absolutních četností.....	57
Obrázek 14 Polygon relativních četností.....	58
Obrázek 15 Polygon kumulativních četností.....	58
Obrázek 16 Gaussova křivka s daty vlastního výzkumu.....	60
Obrázek 17 Bohrův princip komplementarity (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 1</i>).....	65
Obrázek 18 Heisenbergova relace neurčitosti polohy a hybnosti (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 2</i>).....	66
Obrázek 19 Výsledek Heisenbergových relací neurčitosti (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 3</i>).....	67
Obrázek 20 Vlnově-korpuskulární dualismus (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 4</i>).....	68
Obrázek 21 Jevy vysvětlené díky vlnově-korpuskulárnímu dualismu (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 5</i>).....	69
Obrázek 22 Role vlnově-korpuskulárního dualismu u mimořádných událostí (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 6</i>).....	70
Obrázek 23 Elektrický náboj cumulonimbu (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 7</i>).....	71
Obrázek 24 Vznik hromu (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 8</i>).....	72
Obrázek 25 Palivo jaderných elektráren (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 9</i>).....	73
Obrázek 26 Částice užívané v jaderných elektrárnách ke štěpení uranu (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 10</i>).....	74
Obrázek 27 Nejnebezpečnější záření emitované jaderným odpadem z jaderných elektráren (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 11</i>).....	75

Obrázek 28 Počet jaderných elektráren na území České republiky (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 12</i>)	76
Obrázek 29 Zápis radioaktivní přeměny beta mínus (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 13</i>).....	77
Obrázek 30 Nejvýznamnější jevy při průchodu gama/rtg záření prostředím (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 14</i>).....	78
Obrázek 31 Změna aktivity radionuklidu s přibývajícím časem (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 15</i>)	79
Obrázek 32 Čas rovnosti množství mateřských a dceřinných prvků (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 16</i>)	80
Obrázek 33 Polovrstva (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 17</i>).....	81
Obrázek 34 Rychlost elektronu vyraženého při fotoelektrickém jevu vůči fotonu (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 18</i>).....	82
Obrázek 35 Počet složek absorpčního koeficientu při interakci rtg/gama záření (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 19</i>).....	83
Obrázek 36 Změna intenzity záření se zvětšením vzdálenosti od zdroje (<i>procentuální zastoupení odpovědi k otázce 20</i>)	84
Obrázek 37 Počet bodů dosažených studenty.....	86
Obrázek 38 Procentuální vyjádření dosažených bodů jednotlivých studentů	87
Obrázek 39 Procentuální úspěšnost studentů v jednotlivých otázkách	88
Obrázek 40 Rubinova váza	105
Obrázek 41 Vznik blesku.....	108
Obrázek 42 Schéma jaderné elektrárny	110

Obrázek 43 Mezinárodní stupnice k hodnocení závažnosti radiačních a radiologických událostí (INES)	112
Obrázek 44 Grafický průběh rozpadového zákona.....	115
Obrázek 45 Grafický průběh absorpčního zákona.....	117
Obrázek 46 Znázornění průběhu fotoelektrického jevu	118
Obrázek 47 Znázornění průběhu Comptonova jevu	119
Obrázek 48 Znázornění průběhu obráceného anihilačního jevu	120

Seznam příloh

Příloha 1 Edukační text

Příloha 2 Edukační test

Princip komplementarity ve fyzice a jeho role při přípravě odborníků v oblasti ochrany obyvatelstva

Princip komplementarity

Princip komplementarity lze charakterizovat jako „nový styl (rámec)“ myšlení, jehož představitelem byl Niels Henrik David Bohr, osobnost známa především jako vědec, strůjce Bohrova modelu atomu, méně už jako filozof. Komplementarita neboli doplňkovost (z latinského slova „*complementum*“, doplnění či doplněk) je velice úzce spjata s vlnově-korpuskulárním dualismem fotonu. (Grygar a Čermák, 2017) Bohr zpočátku odmítal Einsteinovu teorii duálního charakteru světla, čili že by se foton v některých případech choval jako vlna a v některých jako částice, avšak postupem času byl o této skutečnosti přesvědčen především díky práci dvou fyziků (německý fyzik W. K. Heisenberg a rakouský fyzik E. Schrödinger). Oba fyzikové, ačkoliv své matematické popisy jednoho a toho samého problému založili na neslučitelných představách, došli k výsledkům, které si neodporovaly, byly však jednostranné a neúplné. Heisenberg svůj matematický popis vytvořil z pohledu částicového charakteru a Schrödinger z hlediska vlnového charakteru. (Grygar, 2014) Výsledkem byla tedy idea komplementarity - vlastnosti dané entity lze popsat jak vlnově tak korpuskulárně, avšak ne oběma způsoby zároveň a nelze říci, že zkoumaná entita je vlna nebo částice. (McGrath, 2003; Grygar 2011)

Někdy bývá idea komplementarity vysvětlována na obrazu Edgara Rubina „Rubinova váza“ na kterém lze vidět siluetu vázy (bílá plocha) nebo dva profily lidské hlavy dívající se na sebe. V jeden okamžik je možné vidět a vnímat pouze jedno ze zmiňovaného. (Brabec a Bartůněk, 2017)



Obrázek 40 Rubinova váza

Zdroj: (Grygar a Čermák, ©2017)

Jako příklad vlnově-korpuskulárního dualismu fotonu lze uvést Comptonův jev (rozptyl) a fotoelektrický jev. U Comptonova jevu (respektive při jeho vysvětlení) je foton uvažován jako korpuskule, neboli částice, která má svou hmotnost a hybnost, a mohl se tak srazit s elektronem slabě vázaným k atomu. K vysvětlení fotoelektrického jevu je foton naopak uvažován jako vlna, „druh energie“ předané elektronu, jejímž prostřednictvím (absorpcí) se elektron dokáže z atomu uvolnit. (Záškodný, 2005)

Princip neurčitosti - Heisenbergovy relace neurčitosti

Principem neurčitosti nebo jinak relacemi neurčitosti se zabýval německý fyzik, nositel Nobelovi ceny za fyziku, W. K. Heisenberg. (Bureš. 2002) Dle tohoto fyzika lze princip neurčitosti rozdělit na dvě dílčí části (Grygar 2011):

- 1) Relace neurčitosti polohy a hybnosti
- 2) Relace neurčitosti energie a času

Ad. 1)

Tuto relaci neurčitosti lze odvodit dvěma způsoby. Prvním způsobem je odvození založené na vlnové povaze částic. Odvození vychází z předpokladu vlnového klubka

složeného ze dvou de Broglieho vln. Výsledným vzorce je $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$ neboli

$$\underline{\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar.} \text{ (Beiser, 1975)}$$

Druhým způsobem je odvození založené na částicové povaze vln. Tato teorie uvažuje, že ke změření polohy libovolné částice je zapotřebí, aby její velikost byla alespoň jedna polovina vlnové délky $\frac{\lambda}{2}$ záření, které má na částici dopadnout. Je-li částice menší než polovina vlnové délky záření, nedojde k dopadu záření na částici tedy ani k odrazu vlny záření zpět do detektoru (oko, objektiv atd.). Výsledným vztahem je $\underline{\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}.}$ (Beiser, 1975)

Ze vzniklých vztahů pro relaci neurčitosti polohy a hybnosti je patrné, že je v souladu s myšlenkou komplementarity při výkladu kvantové teorie - znalost místa, kde se částice vyskytuje, je komplementární ke znalosti její rychlosti či hybnosti. (Heisenberg, 2000)

Při pohledu na výsledné matematické vztahy obou odvození je patrné, že nejsou zcela stejné, avšak lze je za shodné považovat, jelikož je svět kvantové fyziky nekonečně malý, platí v něm odlišná, mnohdy i pro lidstvo nepochopitelná pravidla, logika a dále pak menší nepřesnost (odlišnost) výsledků je taktéž dána metodou odvození a úvahami během odvozování. Důležitým závěrem vyplývajícím z obou odvození je, že vždy vyjde malé, ale nenulové číslo, přesněji číslo větší nebo rovné polovině Planckovy-Diracovy konstanty. Odtud vyplývá, že nikdy nelze znát současně přesnou polohu částice a její rychlost (případně i směr).

Ad. 2)

Relace neurčitosti času a energie vyjadřuje obdobně jako předchozí relace neurčitosti přibližně nepřímou úměrnost mezi určitostí času a energie. Výsledným vztahem je

$$\underline{\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}.} \text{ (Reichl a Všeticka, 2008b)}$$

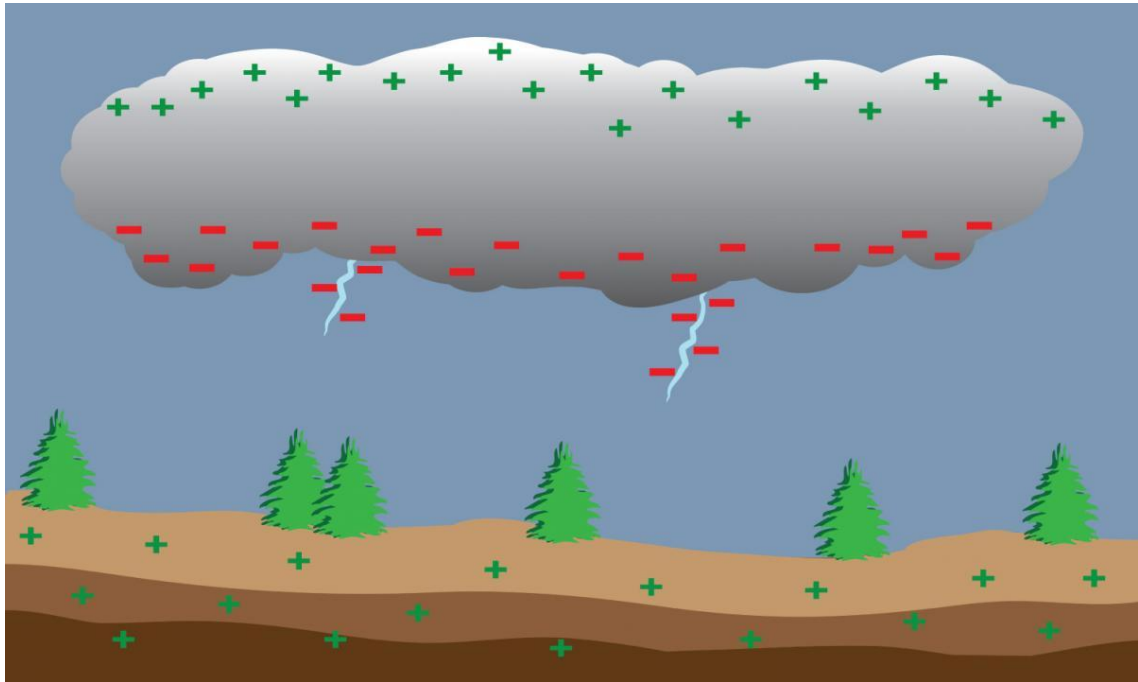
Propojení světa fyziky a ochrany obyvatelstva

Propojením světa fyziky a ochrany obyvatelstva je vlnově-korpuskulární dualismus. Při analýze mimořádných událostí byly hledány mimořádné události se vztahem k výskytu fotonů, či elektronů, konkrétně ve vazbě na zmiňovaný vlnově-korpuskulární dualismus. Z tohoto hlediska se ukázaly být důležité mimořádné události spojené s blesky a jadernými zařízeními (jaderné havárie) neboli mimořádné události kosmogenní a technogenní.

Blesky:

Blesk je silný elektrostatický výboj doprovázený emisí viditelného světla modrobílé barvy. Blesk vzniká v bouřkovém mraku značných rozměrů v tzv. cumulonimbu. Bouřkový mrak je jakýmsi dipólem, tzn. spodní část mraku, která je blíže k zemi je tvořena záporně nabitými částicemi, a vzdálenější část od povrchu zemského je kladně nabitá. Vrchní část mraku dosahuje výšky až 17 km, spodní část je od povrchu zemského vzdálena několik stovek metrů až několik kilometrů. (Rakov a Uman, 2006)

Blesk vzniká působením kumulonimbu na povrch země. Cumulonimbus, jehož záporně nabitá část se pohybuje nad povrchem země, působí na plochu pod ním, ze které odpuzuje veškeré záporně nabitě částice, hromadí se pod ním tedy jen kladně nabitě částice. Jak známo, kladné a záporně nabitě částice se přitahují. Je-li mezi mrakem a zemí veliký rozdíl potenciálů, tedy velké napětí, dojde k tomu, že cumulonimbus a země si vzájemně naproti vysílají „chapadla“, chtějí se sebe dotknout. Dojde-li k tomu, že se spojí, vznikne mezi zemí a bouřkovým mrakem tzv. vodivý kanál. Skrz vodivý kanál ihned začne proudit část záporně nabitých částic z cumulonimbu směrem ke kladně nabitě zemi, což se nazývá hlavním výbojem. Po hlavním výboji následuje zpětný výboj neboli blesk, při němž se přenesse kladný náboj ze země směrem vzhůru k mraku rychlostí jedné až pěti desetin rychlosti světla. Zpětný výboj ohřeje kanál blesku až na 30 000 stupňů Celsia. Ohřáté plazma, ionizovaný plyn, má pětkrát vyšší tlak než okolí a velmi rychle se rozpíná do okolí, což má za následek vznik nadzvukové rázové vlny, známé jako hrom. (Kulhánek, 2011; McVeigh, 2015)



Obrázek 41 Vznik blesku

Zdroj: (Bleskozvody, ©2013)

Blesk trvá přibližně tisícinu vteřiny, jeho teplota je až 30 000 stupňů Celsia a proud okolo 20 000 ampér. (Kusala, 2003) Účinky blesku jsou tedy převážně ničivé. Blesk může působit požáry, pády stromů, výpadky elektřiny, deformaci materiálů apod. Ačkoliv je to poměrně málo pravděpodobné může dojít i k zásahu lidského organismu bleskem. Zasažení bleskem se dá přežít. Důležitým faktorem k přežití zásahu blesku je dráha, kterou v organismu proudí. Nejnebezpečnější a většinou neslučitelné se životem jsou dráhy skrze srdce a mozek. (Meduna a Koudelka, 2006)

Blesk zpravidla udeří do nejvyššího bodu v okolí. Tohoto předpokladu využívá zařízení nazývané bleskosvod, mezi lidmi známé především jako hromosvod, které svede blesk do země. Vynalezl jej český vynálezce Václav Prokop Diviš. (250 let hromosvodu Prokopa Diviše, 2004)

Ochrana člověka před blesky spočívá především v opatřeních jako, nevycházet za bouřky zbytečně ven, nevyskytovat se v otevřeném terénu, vodě, na vyvýšených místech nebo pod stromy či skalními převisy. (Kopáček, 2017) Zvláště nebezpečné je tzv. „krokové napětí“, které vzniká mezi nohama člověka, v jehož blízkosti udeřil blesk

např. do stromu. Elektrický proud je skrze strom sveden k zemi a do okolí stromu klesá jeho intenzita se čtvercem vzdálenosti. Člověk stojící s rozkročenýma nohama u tohoto stromu vytváří rozdíl potenciálů, tedy napětí a začne skrz něj procházet elektrický proud, protože elektrický proud prochází vždy cestou nejmenšího odporu. (Hořák, 2017)

Jaderné havárie:

Jaderné havárie jsou většinou způsobeny činností člověka, pochybením lidského faktoru, nebo technologickými, technickými nedostatky - selháními. Mají za následek úmrtí osob, poškození jejich zdraví a majetku, poškození životního prostředí.

Na území České republiky je hrozba jaderné havárie velice reálná. K jaderné havárii nemusí dojít pouze lidským pochybením v tomto zařízení nebo technologickou či technickou chybou ale také vnějším ohrožením, pod čímž si lze představit především teroristický útok.

Na území České republiky se nachází dvě jaderné elektrárny. Jsou jimi Jaderná elektrárna Temelín (JETE) nacházející se v Jihočeském kraji u města Týn nad Vltavou a Jaderná elektrárna Dukovany (EDU) u obce Dukovany v kraji Vysočina. (Jaderná energetika v ČR, ©2017.)

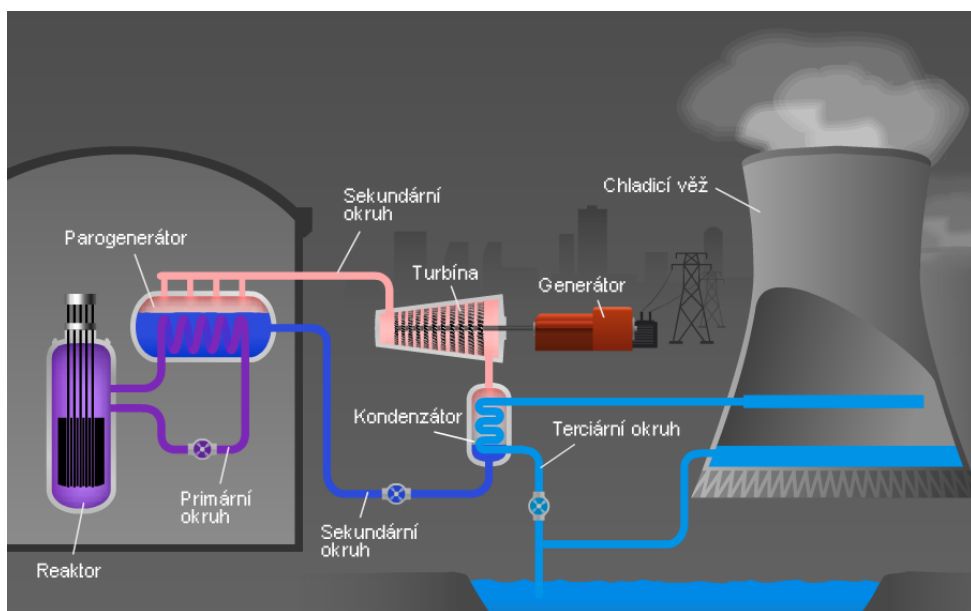
Nejprve však princip a složení jaderné elektrárny:

Jaderná elektrárna je zařízení k výrobě elektrické energie pracující na obdobném principu jako elektrárna tepelná (př. uhelná). Pára stejně jako u uhelné elektrárny pohání turbínu napojenou na generátor, kde se mechanická energie mění na energii elektrickou, která je dále rozváděna do rozvodné sítě. Zásadní rozdíl mezi jadernou a tepelnou elektrárnou je ve způsobu získání (vyrobení) páry potřebné k výrobě elektrické energie. Zatímco v tepelné uhelné elektrárně pára vzniká spalováním uhlí, v jaderné elektrárně vzniká štěpením uranu 235. (Kusala, 2004a)

Jaderná elektrárna se skládá ze tří okruhů:

- 1) primární okruh
- 2) sekundární okruh
- 3) terciální okruh (též nazývaný jako chladicí okruh)

Jadernou elektrárnu lze rozdělit na tzv. jadernou a nejadernou část. Jadernou část elektrárny tvoří primární okruh. Zbylé dva okruhy (sekundární a terciální okruh) tvoří nejadernou část. Okruhy spolu „sousedí pouze na dotyk“ to znamená, že spolu nejsou přímo propojeny, nedochází tedy k promíchávání vod okruhů. (Kusala, 2004a)



Obrázek 42 Schéma jaderné elektrárny

(Jak funguje jaderná elektrárna | Jaderná energetika, ©2017)

Celý proces výroby elektrické energie začíná u jaderné elektrárny v primárním okruhu, který je celý uložen v tzv. kontajneru. Kontajner je hermeticky uzavřená betonová budova k ochraně jaderného reaktoru tvořená velice silným železobetonem. Jaderný reaktor je počátkem celého procesu výroby elektrické energie, probíhá v něm řízená jaderná reakce štěpení jader uranu. Uran je do jaderného reaktoru dodáván ve formě peletky (malé válečky o hmotnosti 5 gramů, které jsou schopny energií z nich

získanou nahradit 1640 kilogramů hnědého uhlí nebo 880 kilogramů černého uhlí, 600 litrů benzínu či 1170 kilogramů dřeva). Peletky jsou vkládány do hermeticky uzavřených trubek a vytvářejí palivové proutky. Z palivových proutků jsou dělány svazky neboli palivové kazety (též palivový článek či soubor). (Kusala, 2004a)

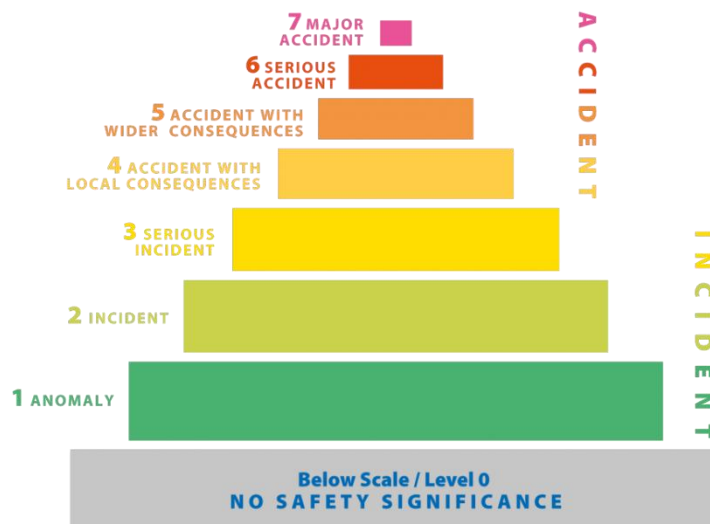
Při jaderné reakci dochází ke štěpení jader uranu 235 a to tím způsobem, že je jádro atomu uranu ostřelováno pomalým neutronem. Jádro atomu uranu tento neutron přijme (absorbuje) a vznikne tak nestabilní nuklid - uran 236, který se následně rozpadá na dva dceřinné produkty přičemž je uvolněno elektromagnetické záření a 2 až 3 rychlé neutrony s kinetickou energií do 2 MeV, které, aby mohly dále reagovat (štěpit nuklid uran235), musí být zpomaleny - je zapotřebí snížit jejich energii na 0,025 až 0,5 eV. (Reichl a Všetická, 2016) Zpomalení neutronů probíhá v tzv. moderátoru, látce obsahující lehká jádra. Nejčastěji se ke zpomalení neutronů používá voda či grafit. Důležitou vlastností moderátoru je také co nejmenší absorpce neutronů. Látkami vyhovující oběma požadavkům je například těžká voda, grafit či lehká voda. Množství volných neutronů je v reaktoru regulováno regulačními tyčemi, tím tedy i průběh štěpení a výkon reaktoru. Regulační tyče se zasouvají či vysouvají z prostoru mezi palivovými články, dle toho, zda je potřeba výkon snížit či zvýšit. S vysouváním regulačních tyčí stoupá výkon reaktoru. Pro případ okamžitého ukončení reakce je jaderný reaktor vybaven bezpečnostními tyčemi, které jsou navíc vybaveny větší vrstvou absorbátoru. (Kusala, 2004b)

Jaderná reakce uvnitř reaktoru vytváří velké množství tepla, které je odváděno vodou ochlazující reaktor do parogenerátoru. V parogenerátoru voda přicházející od reaktoru předá své teplo přes stěny trubek vodě sekundárního okruhu. Voda v parogenerátoru (voda sekundárního okruhu) se mění na páru, která pohání turbínu napojenou na generátor. V generátoru vzniká elektromagnetickou indukcí elektrická energie (mechanická energie se mění na elektrickou), která je dále přenášena a upravována (transformace napětí) až ke konečným spotřebitelům (domácnosti, továrny atd.). (Reichl a Všetická, 2008c) Pára, která poháněla lopaty turbíny, dále putuje do kondenzátoru, kde dochází ke kondenzaci páry zpět na vodu sekundárního okruhu vlivem vody

chladicího okruhu. Teplo přijaté terciálním okruhem je odváděno do chladicí věže, kde dochází k ochlazování vody vzduchem. (Kusala, 2004a)

Nejznámější jaderné havárie jsou havárie jaderné elektrárny Černobyl a Fukušima. Obě tyto havárie byly ohodnoceny nejvyšším stupněm závažnosti INES 7. (Petr, 2012)

INES (The International Nuclear and Radiological Event Scale) neboli mezinárodní měřítko k hodnocení závažnosti jaderných a radiologických událostí z hlediska bezpečnostního významu. Stupnice INES byla vyvinuta roku 1990 Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA) a Agenturou pro jadernou energii Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD / NEA). Stupnice má celkem 7 úrovní, čím vyšší je číselné hodnocení události, tím větší má bezpečnostní význam. (International Nuclear and Radiological Event Scale, 2017)



Obrázek 43 Mezinárodní stupnice k hodnocení závažnosti radiačních a radiologických událostí (INES)

Zdroj: (International Nuclear and Radiological Event Scale, ©2017)

Některé zdroje uvádějí Černobylskou havárii jako vůbec nejhorší v dějinách lidstva, jelikož je spojena především s pochybením personálu, který měl v osudovou noc službu a prováděl zkoušky na 4. reaktoru. Havárie jaderné elektrárny Fukušima byla jako událost řešena lépe, doplatila však na své stavební provedení, kdy oproti projektu byla vybudována o 25 metrů nad mořem níže.

Kromě nebezpečí nějaké chyby na zařízení či pochybení lidského faktoru, vyplývá z jaderných elektráren ještě jednou velké nebezpečí, kterým je **radioaktivní odpad** neboli odpad vykazující radioaktivitu.

Nebezpečí plynoucí z jaderných elektráren

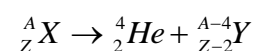
Jak již bylo naznačeno nebezpečí plynoucí z jaderných elektráren je dvojího typu. První skupinou je nebezpečí plynoucí z havárií jaderných elektráren, především nebezpečí v souvislosti s jaderným reaktorem. Druhou skupinou nebezpečí je radioaktivní odpad a vyhořelé jaderné palivo emitující nebezpečné ionizující záření. Dříve než budou definovány pojmy radioaktivní odpad, jaderný odpad apod. je důležité definovat pojem radioaktivita, aktivita a další.

Radioaktivita je schopnost některých atomů se samovolně přeměňovat na jiné atomy (radioaktivní přeměna). Atomům, které jsou tohoto schopny, nesou název radionuklidy (nuklidy s nestabilním jádrem). Nestabilita jádra je způsobena přebytečnou energií, kterou jádro nuklidu ve snaze stát se stabilním uvolňuje ve formě záření či částic. (Švec, 2005)

Základní dělením radioaktivity je rozdělení na radioaktivitu přirozenou a umělou. Přirozená radioaktivita se vyskytuje u přírodních prvků, kdežto umělá radioaktivita se vyskytuje u prvků uměle vyrobených, například v urychlovačích částic či jaderných reaktorech. (Záškodný, 2005)

Dle druhu emitovaného záření se radioaktivita (radioaktivní přeměny) dělí na (Podgoršak, 2005):

- **Přeměna α** - Z jádra je emitováno α záření (α částice), které je tvořeno jádrem helia s dvěma protony a dvěma neutrony. Nukleové číslo se zmenšuje o 4 a protonové o 2 tzn. výsledný prvek (dceřinný) se v periodické soustavě prvků nalézá o dvě místa vlevo od prvku původního (mateřského).



➤ **Přeměna β^-** - Z jádra jsou uvolňovány částice β^- , elektron nebo jeho antičástice pozitron („kladný elektron“). Beta záření má spojité spektrum.

- **Přeměna β^-** - Neutron se v jádře mateřského radionuklidu mění na proton, antineutrino a elektron, který je z jádra uvolněn. Nukleonové číslo jádra se nemění, protonové číslo se zvětší o 1, to má za následek posun prvku v periodické soustavě prvků o jedno místo vpravo.



- **Přeměna β^+** - V jádře mateřského radionuklidu dochází k přeměně protonu na neutron, neutrino a pozitron, který je z jádra uvolněn. Nukleonové číslo se nemění, protonové číslo prvku se zmenší o 1, to má za následek posun prvku v periodické soustavě prvků o jedno místo vlevo.



➤ **Přeměna γ** - Přeměna γ není prvotním jevem jako tomu je u předchozích přeměn. Předchozí radioaktivní přeměny se týkaly mateřského jádra. Oproti tomu radioaktivita γ se týká jádra dceřinného. Lze ji charakterizovat jako průvodní jev vznikající při obnovování rovnováhy jádra porušeného α či β radioaktivitou. Gama částicemi emitovanými z jádra jsou gama fotony. Spektrum gama záření je čárové neboli nespojitě. (Záškodný, 2005)

Ke stabilizaci jádra nemusí dojít pouze jednou přeměnou. I když se radionuklid přemění na izotop jiného prvku, neznamená to, že výsledné jádro je stabilní. Velmi často je vzniklý prvek také radioaktivní (nestabilní) a snaží se stabilizovat opět proměnou a vyzařováním přebytečné energie. V takovém případě se hovoří o postupné stabilizaci jádra, která trvá až do přeměny ve stabilní izotop. Původní jádro tedy prochází tzv. rozpadovou či přeměnovou řadou končící v případě přírodních radionuklidů izotopy olova či vizmutu. (Beneš et al., 2015)

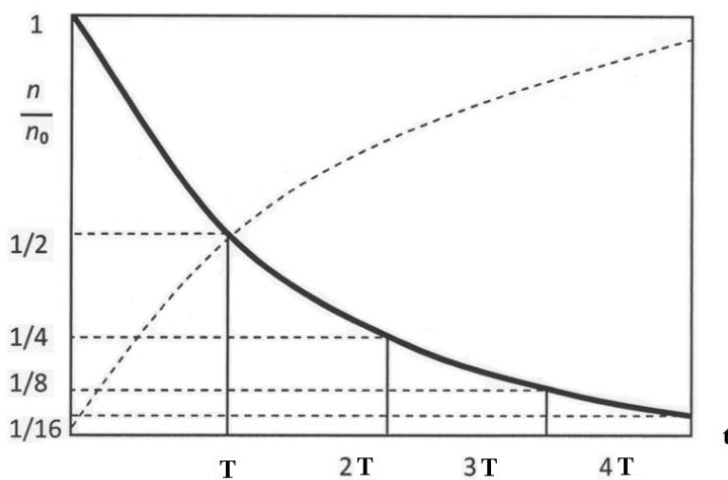
Veličina kvantifikující radioaktivitu se nazývá **aktivita** a lze ji jednoduše charakterizovat jako počet radioaktivních přeměn za jednotku času, sekundu.

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Jednotkou aktivity je Becquerel odpovídající jednomu rozpadu (jedné přeměně) za jednu sekundu. V praxi je tato jednotka velmi malá a používá se v řádech vyšších (kilo, mega, giga atd.). (Švec, 2005)

Aktivita radionuklidu klesá exponenciálně s přibývajícím časem. Matematicky radioaktivní přeměnu a tedy i průběh aktivity popisuje **rozpadový zákon**. Grafickým znázorněním rozpadového zákona jsou dvě exponenciální křivky: jedna klesající, druhá rostoucí. Klesající popisuje úbytek mateřských prvků s časem a rostoucí popisuje nárůst počtu dceřinných prvků z prvků mateřských. (Záškodný, 2005)

Rovnice a graf rozpadového zákona: $n = n_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t} = n = n_0 e^{-\lambda t}$



Obrázek 44 Grafický průběh rozpadového zákona

Zdroj: (Záškodný, 2005)

T	poločas rozpadu (doba, za kterou se přemění $\frac{1}{2}$ mateřských prvků v dceřinné)
n_0	počet mateřských prvků v čase $t=0$
n	počet mateřských prvků v čase t
λ	rozpadová (přeměnová) konstanta

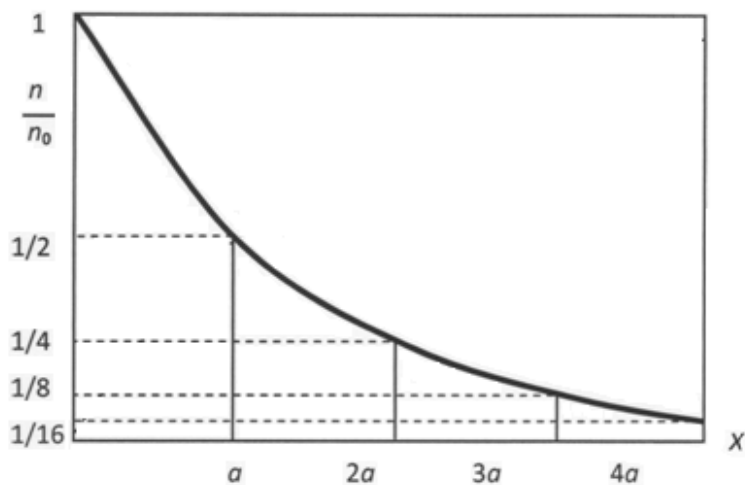
Radioaktivní odpad je definován v zákoně č. 263/2016 Sb. (atomový zákon), ve znění pozdějších předpisů. Dle tohoto zákona se radioaktivním odpadem rozumí věc, která je radioaktivní látkou nebo předmětem nebo zařízením ji obsahujícím nebo jí kontaminovaným, pro kterou se nepředpokládá další využití a která nesplňuje podmínky stanovené tímto zákonem pro uvolňování radioaktivní látky z pracoviště.

Ačkoliv z atomového zákona vyplývá, že radioaktivním odpadem je to, co vykazuje radioaktivitu a nepředpokládá se další využití, mluví-li se však o radioaktivním odpadu hlouběji, často se do něj řadí i vyhořelé jaderné palivo, u kterého se další využití předpokládá (i když je technologicky a finančně náročné). Vyhořelé jaderné palivo představuje méně než 1% všech radioaktivních odpadů na světě, ale obsahuje více než 90% veškeré aktivity. (Radioaktivní odpady a skupina ČEZ, 2016)

Hlavním problémem vyhořelého jaderného paliva a radioaktivního odpadu je produkce gama záření. Zatímco alfa a beta záření lze odstínit velice snadno (alfa záření papírem, beta záření vrstvou hliníku), gama záření se odstiňuje nejčastěji vrstvou olova či betonu.

Záření gama je elektromagnetické záření s velmi krátkou vlnovou délkou (10^{-11} až 10^{-13} metru). S prostředím interaguje stejně jako rentgenové záření s elektronovým obalem atomů nebo Coulombovským polem jader, tím ubývá na intenzitě (je absorbováno). (Rosina, 2013) Absorpci gama záření popisuje **absorpční zákon** a jeho dílčí jevy: fotoelektrický jev, Comptonův jev a obrácený anihilační jev. (Záškodný, 2005; Vallabhajosula, 2009)

Rovnice a graf absorpčního zákona: $n = n_0 e^{-\frac{\ln 2}{a} x} = n_0 e^{-\mu x}$



Obrázek 45 Grafický průběh absorpčního zákona

Zdroj: (Záškodný, 2005)

n počet částic v hloubce x

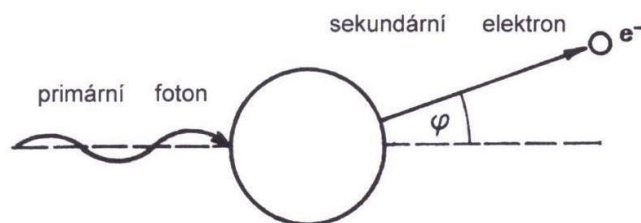
a polovrstva je taková tloušťka absorbujícího materiálu, která zeslabí intenzitu záření na $1/2$ původní hodnoty

n_0 počet částic, které dopadly na povrch těla

μ lineární součinitel zeslabení záření neboli koeficient absorpce. Je roven součtu koeficientů absorpce tří průvodních jevů.

Dílčí jevy absorpčního zákona:

➤ Fotoelektrický jev



Obrázek 46 Znázornění průběhu fotoelektrického jevu

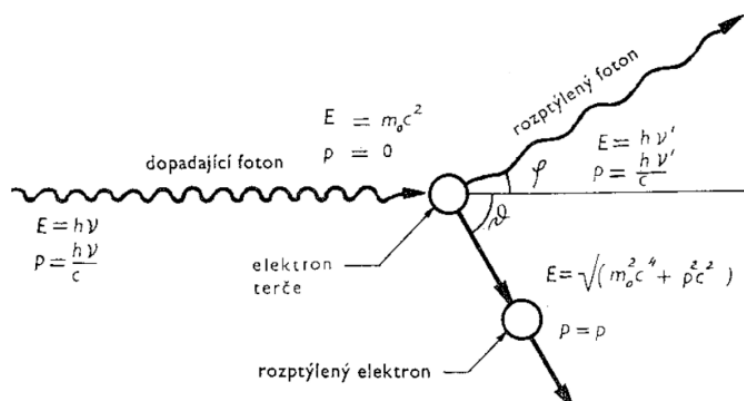
Zdroj: (Rosina a Navrátil, 2000)

Výklad fotoelektrického jevu byl podán A. Einsteinem roku 1905. Einstein tento jev vysvětlil za pomoci vlnově-korpuskulárního dualismu fotonu, dle něhož lze část vlastností světla vysvětlit vlnovým charakterem a část částicovým. K jevu podal i fotoelektrickou rovnici $h\nu = T_{\max} + h\nu_0$, kde $h\nu$ je energie kvanta dopadajícího světla, T_{\max} maximální možná energie fotoelektronu a $h\nu_0$ výstupní práce neboli minimální energie potřebná k vytržení elektronu z kovu (energie spotřebovaná k uvolnění elektronu). (Beiser, 1975; Záškodný, 2005)

Při fotoelektrickém jevu se foton záření sráží s elektronem vázaným v atomu na některém z vnitřních orbitalů, předá mu veškerou svou energii a zaniká. Elektron je z elektronového obalu atomu uvolněn s energií fotonu zmenšenou o výstupní práci. Jelikož všechny elektrony nejsou v atomu vázány stejnou silou, liší se tak i jejich energie po vyražení z elektronového obalu atomu. (Vallabhajosula, 2009)

Pravděpodobnost fotoelektrického jevu roste s rostoucím protonovým číslem materiálu a s nižší energií záření. (Kuna et al., 2005)

➤ Comptonův jev



Obrázek 47 Znáornění průběhu Comptonova jevu

Zdroj: (Rosina a Navrátil, 2000)

Jev, jehož vysvětlení bylo podáno roku 1923 americkým fyzikem a nositelem Nobelovy ceny, A. H. Comptonem, který zkoumal rozptyl paprsků rentgenového záření. K vysvětlení bylo nutné uvažovat foton jako částici, která má svou hmotnost a hybnost. (Záškodný, 2005)

Foton záření se sráží s elektronem volným nebo slabě vázaným v atomu na některém z vnějších orbitalů, předává mu část své energie a dále pokračuje jako foton nový (rozptýlený) s energií závislou na úhlu rozptylu (0-180°). Se zvětšujícím se úhlem rozptylu klesá energie rozptýleného fotonu. Při úhlu rozptylu $\varphi = 180^\circ$ se hovoří o tzv. zpětném rozptylu. (Záškodný, 2005; Vallabhajosula, 2009)

Při Comptonově jevu platí - jak zákon zachování energie (ztráta energie fotonu odpovídá energii elektronu), tak zákon zachování hybnosti (konečná hybnost je shodná s počáteční hybností). (Beiser, 1975; Záškodný, 2005)

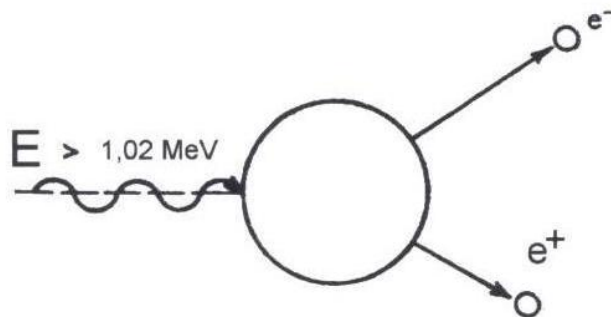
$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\varphi).$$

Teoreticky uvedený vztah platí pro všechny fotony (o libovolné hmotnosti), prakticky však neplatí pro fotony, jejichž hmotnost je o hodně menší než klidová hmotnost

elektronu. Comptonův jev tedy nelze pozorovat u fotonů viditelného světla. (Záškodný, 2005)

Comptonův rozptyl je převládající interakcí záření s látkami o malém protonovém čísle (např. voda, tkáň atd.). Comptonův jev nezávisí na protonovém čísle absorpčního materiálu. (Kuna et al., 2005)

➤ **Obrácený anihilační jev**



Obrázek 48 Znázornění průběhu obráceného anihilačního jevu

Zdroj: (Rosina a Navrátil, 2000)

Při obráceném anihilačním jevu foton proniká do blízkosti jádra, předá mu část své hybnosti a má-li poté foton energii větší než je energie odpovídající hmotnosti dvou elektronů, vzniká dvojice částic elektron-pozitron s výslednou energií danou vztahem:

$$T = h\nu - 2m_0c^2 \quad (\text{Záškodný, 2005; Vallabhajosula, 2009})$$

Eliminace nebezpečí plynoucího z jaderných elektráren

Snahou státu, potažmo celého světa je co nejvíce tato nebezpečí eliminovat, proto je vydáváno množství zákonů, vyhlášek a dalších legislativních dokumentů jak na úrovni dané země, tak na úrovni mezinárodní, jejichž dodržování je kontrolováno.

Příloha 2 Edukační test

- 1) Bohrov princip komplementarity úzce souvisí:
 - a) S vlnovými vlastnostmi (vlnová délka, frekvence, apod.) elektromagnetického záření
 - b) S částicovými vlastnostmi (hmotnost, hybnost) korpuskulárního záření
 - c) S částicovými vlastnostmi (hmotnost, hybnost) elektromagnetického záření
 - d) S vlnovými i částicovými vlastnostmi (vlnově-korpuskulárním dualismem)
- 2) Heisenbergova relace neurčitosti polohy a hybnosti mezi těmito veličinami vyjadřuje:
 - a) Přibližně nepřímou úměrnost mezi určitostí polohy a hybnosti
 - b) Přímou úměrnost mezi určitostí polohy a hybnosti
 - c) Mezi veličinami není žádný vztah
 - d) Mezi veličinami platí pohybová rovnice
- 3) Výsledkem Heisenbergových relací neurčitosti (neurčitost polohy a hybnosti, neurčitost energie a času) je vždy:
 - a) Záporné číslo
 - b) Nula
 - c) Číslo menší jak polovina Planckovy-Diracovy konstanty
 - d) Polovina Planckovy-Diracovy konstanty a více

- 4) Vlnově-korpuskulární dualismus vyjadřuje:
- a) Foton záření má jak vlnový, tak i částicový charakter zároveň
 - b) Částice má jak částicový, tak vlnový charakter zároveň
 - c) Foton i částice mohou mít jak částicový tak i vlnový charakter zároveň
 - d) Foton i částice mohou mít jak částicový tak i vlnový charakter, nikdy však zároveň
- 5) Vlnově korpuskulární dualismus fotonu pomohl k vysvětlení:
- a) Fotoelektrického jevu a Comptonova jevu (rozptylu)
 - b) Fotoelektrického jevu a obráceného anihilačního jevu
 - c) Comptonova jevu a anihilačního jevu
 - d) Anihilačního jevu a fotoelektrického jevu
- 6) Vlnově-korpuskulární dualismus, jako propojení světa fyziky s ochranou obyvatelstva, hraje svou roli u mimořádných událostí:
- a) Sociogenních, technogenních a ekonomických
 - b) Biotických, kosmogenních a abiotických
 - c) Kosmogenních a technogenních
 - d) Biotických a abiotických
- 7) Cumulonimbus (bouřkový mrak):
- a) Má kladný náboj
 - b) Jeho náboj je záporný
 - c) Nemá žádný náboj (tj. neutrální náboj)
 - d) Tvoří tzv. dipól

8) Hrom vzniká:

- a) Rozpínáním plazmatu do okolí
- b) Srážkou dvou bouřkových mraků
- c) Samostatně, nezávisle na blesku
- d) Akustickým pohybem mraků

9) Palivem jaderných elektráren je:

- a) Uran 235
- b) Rozpadová řada
- c) Uran 238
- d) Tepelný efekt

10) Ke štěpení uranu se v jaderných elektrárnách používají:

- a) Protony
- b) Neutrony
- c) Elektronky
- d) Pozitrony

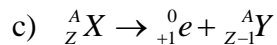
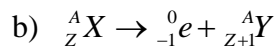
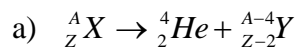
11) V souvislosti s využíváním jaderných elektráren vzniká štěpením uranu jaderný odpad vykazující značnou radioaktivitu. Nejnebezpečnějším zářením produkovaným tímto odpadem je:

- a) Záření alfa (jádra He)
- b) Záření beta plus (pozitrony)
- c) Záření beta minus (elektrony)
- d) Záření gama (fotony)

12) Na území ČR se nacházejí:

- a) 2 jaderné elektrárny
- b) 3 jaderné elektrárny
- c) 4 jaderné elektrárny
- d) Jen mimojaderné zdroje energie

13) Která z následujících rovnic je zápisem pro radioaktivní přeměnu beta mínus:



- d) Rovnici nelze explicitně zapsat

14) Nejvýznamnějšími jevy při průchodu gama/rtg záření prostředím jsou:

- a) Fotoelektrický jev, anihilační jev, obrácený anihilační jev
- b) Comptonův jev, obrácený fotoelektrický jev, anihilační jev
- c) Obrácený anihilační jev, Comptonův jev, fotoelektrický jev
- d) Obrácený fotoelektrický jev, obrácený anihilační jev, Comptonův jev

15) Aktivita radionuklidu dle rozpadového zákona s přibývajícím časem:

- a) Lineárně roste
- b) Lineárně klesá
- c) Exponenciálně roste
- d) Exponenciálně klesá

16) Množství mateřských a dceřiných prvků je rovno v čase:

a) $t = \frac{1}{2} T$

b) $t = T$

c) $t = 2T$

d) $t = 3T$

17) Polovrstvou se nazývá taková vrstva absorbátoru (absorbujícího materiálu), která zeslabí intenzitu záření na:

a) $\frac{1}{2}$

b) $\frac{1}{3}$

c) $\frac{1}{4}$

d) $\frac{1}{5}$

18) Rychlost elektronu vyraženého při fotoelektrickém jevu je v porovnání s rychlostí fotonu, který tento jev způsobil:

a) Větší

b) Menší

c) Shodná

d) Nulová

19) Absorpční koeficient při interakci elektromagnetického záření rtg a gama záření s prostředím je tvořen:

- a) Jednou složkou
- b) Dvěmi složkami
- c) Třemi složkami
- d) Čtyřmi složkami

20) Ochrana před ionizujícím zářením je možná stíněním, časem a vzdáleností. Zvětšením vzdálenosti od zdroje záření na dvojnásobek, klesne intenzita záření v tomto místě:

- a) 1x
- b) 2x
- c) 3x
- d) 4x

10 Seznam zkratek

ČSN	česká technická norma
INES	International Nuclear and Radiological Event Scale
IAEA	International Atomic Energy Agency
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
NEA	Nuclear Energy Agency
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
VHP	vnější havarijní plán