



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

Formalismy kvantové a relativistické fyziky při zkoumání příčin mimořádných událostí

Diplomová práce

Studijní program:
OCHRANA OBYVATELSTVA

Autor: Bc. Martina Janošíková

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

České Budějovice 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Formalismy kvantové a relativistické fyziky při zkoumání příčin mimořádných událostí vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě - v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zdravotně sociální fakultou 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 kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 14.5.2018

.....

podpis

Poděkování

Upřímné poděkování patří vedoucímu této diplomové práce doc. RNDr. Přemyslovi Záškodnému, CSc. za odborné vedení práce, cenné rady a osobní zkušenosti.

Formalismy kvantové a relativistické fyziky při zkoumání příčin mimořádných událostí

Abstrakt

V současné době neexistuje dostupný edukační text, který by byl zaměřen na popsání příčin mimořádných událostí za použití vztahů kvantové a relativistické fyziky tak, aby byl odpovídal schopnostem a znalostem studentů Civilní nouzové připravenosti. Tato diplomová práce by měla tuto mezeru zaplnit. Bylo vytyčeno několik cílů, které budou dílčími kroky plněny:

- 1) Vytvoření struktury příčin MU.
- 2) Vytvoření struktury kvantové a relativistické fyziky na úrovni staré kvantové teorie a s dominancí speciální teorie relativity.
- 3) Provedení komparativní analýzy předcházejících struktur s cílem vystihnout fyzikální podstatu příčin mimořádných událostí z hlediska kvantové a relativistické dimenze fyziky.
- 4) Sestavení testu umožňujícího na bázi teorie kurikulárního procesu zjistit míru informovanosti odborné veřejnosti o kvantových a relativistických aspektech MU.
- 5) Aplikace testu na vhodném vzorku respondentů a statistické vyhodnocení dosažených výsledků.

Na podkladě analýzy řešení předloženého problému a vytyčených cílů byly stanoveny hypotézy:

- 1) Komparací struktury příčin MU a struktury kvantové a relativistické fyziky lze vymezit formalismy kvantové a relativistické fyziky potřebné pro zkoumání příčin mimořádných událostí.
- 2) Informovanost odborné veřejnosti lze zvýšit aplikací teorie kurikulárního procesu.

Jako nejvhodnější nástroj k zpracování této diplomové práce byl zvolen kurikulární proces. Jevil se jako nejlepší varianta, pomocí níž bude provedena transformace vědeckých poznatků do edukační sféry.

Teorie kurikulárního procesu je složena z konceptuálního kurikula (sdělitelného edukačního systému), zamýšleného kurikula (didaktického systému), projektového

kurikula (edukačního textu), implementovaného kurikula-1 (přípravy edukačního testu) a implementovaného kurikulu-2 (statistického zpracování výsledků edukačního testu).

Nejprve bylo zapotřebí analyzovat současný vědecký systém mimořádných událostí, kvantové a relativistické fyziky. Jako první byly popsány mimořádné události, jejich definice, legislativa zabývající se touto problematikou a hlavně bylo zpracováno rozdělení příčin mimořádných událostí. Kvantová fyzika byla zpracována v rozsahu staré kvantové fyziky, kam patří Diracův princip, princip korespondence, princip komplementarity a vlnově korpuskulární dualismus. Relativistická fyzika byla zaměřena na Einsteinovy teorie relativity (speciální i obecnou) a fyzikální jevy a fenomény pojící se s touto tematikou.

Komparací struktury mimořádné události a struktury kvantové a relativistické fyziky bylo zjištěno, že u mimořádných událostí (blesk, radiační havárie) se uplatňují fyzikální děje spojené s vlnově-korpuskulárním dualismem a speciální teorií relativity. Z tohoto důvodu bude konceptuální kurikulum rozděleno na 3 části: mimořádné události, kvantová a relativistická fyzika. Část mimořádné události obsahovala vymezení příčin mimořádných událostí. V rámci kvantové fyziky byl vysvětlen vlnově korpuskulární dualismus aplikovaný na elektron a relativistická fyzika byla zaměřená na speciální teorii relativity, ze které vyplývají vztahy jako kontrakce délky, dilatace času a vztah pro Einsteinovu energii.

Obsahovou transformací konceptuálního kurikula bylo vytvořené zamýšlené kurikulum. Obsah zamýšleného kurikula byl přizpůsoben pro studenty Civilní nouzové připravenosti. Autor vycházel ze sylabu předmětů studentů. Studenti mají pouze jeden předmět zaměřený na výuku fyziky: Vybrané kapitoly z chemie a jaderné fyziky. Jelikož v tomto předmětu není daná tematika dostatečně řešena, autorka se rozhodla, že text bude vytvořen převážně na úrovni učiva středoškolské fyziky.

Zpracované informace v rámci konceptuálního a zamýšleného kurikula byly použity pro vypracování edukačního textu (viz příloha Edukační text). Edukační text měl v algoritmu kurikulárního procesu úlohu projektového kurikula. Vytvořením edukačního textu umožnilo přijetí druhé hypotézy: *Informovanost odborné veřejnosti lze zvýšit aplikací teorie kurikulárního procesu.*

V návaznosti na edukační text byl vytvořen edukační test jako implementované kurikulum-1. Edukační test měl tvar otázek s výběrem z více odpovědí (tzv. multiple-choice test). Obsahoval 14 otázek, přičemž na každou otázku byly 4 varianty odpovědí, ale pouze jedna správná.

Ke zhodnocení míry vědomostí studentů byly využity metody deskriptivní a matematické statistiky, což bylo provedeno v rámci implementovaného kurikula-2. Ty se skládaly z jednotlivých kroků – formulace statistického šetření, škálování, měření v deskriptivní statistice, elementární statistické zpracování a neparametrické testování.

Na test odpovědělo celkem 46 respondentů. Tito respondenti byli studenti prezenční i kombinované formy oboru Civilní nouzová připravenost a test jim byl zaslán elektronickou formou. Výsledky byly podrobeny neparametrickému testování, konkrétně byl aplikován test Pearsonovo χ^2 rozdělení. Výsledky tohoto testování umožnilo přijetí nulové hypotézy, tedy bylo možno empirické rozdělení nahradit normálovým rozdělením. To nám potvrdilo adekvátnost edukačního textu a testu. Verifikací statistického šetření a pomocí metod logických byla potvrzena první hypotéza: *Komparací struktury příčin MU a struktury kvantové a relativistické fyziky lze vymezit formalismy kvantové a relativistické fyziky potřebné pro zkoumání příčin mimořádných událostí.*

Přínosy uvedené diplomové práce:

- Teoretické přínosy práce:
 - Aplikace kurikulárního procesu pro zvýšení informovanosti odborné veřejnosti
 - Použití algoritmu statistiky pro ověření hypotéz.
- Praktické přínosy práce:
 - Edukační test i text, které jsou přizpůsobeny pro studenty Civilní nouzové připravenosti, tudíž mohou být použity jako součást výuky.

Klíčová slova

Mimořádné události, relativistická fyzika, kvantová fyzika, radiační havárie, blesk

Abstract

Currently there is no educational text available which would focus on the causes of emergencies coming from quantum and relativistic physics and which would also be adequate to capabilities and knowledge of students of Civil crisis preparedness. The below diploma thesis should fill this gap. Several goals have been set which will be completed in the following steps:

- Creating a structure of causes of emergencies.
- Creating a structure of quantum and relativistic physics at the level of old quantum theories and with the dominance of special theory of relativity.
- Carrying out a comparative analysis of previous structures in order to capture the physical nature of the causes of emergencies from the point of view of the quantum and relativistic dimension of physics.
- Creating a test based on the theory of the curriculum process, which would determine the level of knowledge of the professional public about the quantum and relativistic aspects of emergencies.
- Applying the test on a suitable sample of respondents and statistical evaluation of achieved results

On the basis of the analysis of the solutions of the presented problem and the determined goals, the following hypotheses were stated:

- By comparing the structure of causes of emergencies and the structure of quantum and relativistic physics, we can define the formalism of quantum and relativistic physics needed to research the causes of emergencies.
- The awareness of the professional public can be enhanced by applying the theory of the curriculum process.

The curricular process was chosen as the most suitable tool for this diploma thesis. It appeared to be the best option for transforming scientific knowledge into the educational sphere.

The theory of the curricular process consists of conceptual curriculum (communicable scientific system), intended curriculum (educational system), projected curriculum (educational text), implemented curriculum-1 (educational test), implemented curriculum-2 (statistical processing of the result of the educational test).

In the beginning it was necessary to analyse the current scientific system of emergencies, quantum and relativistic physics. The first was the description of emergencies, their definitions, the legislation dealing with this issue and mainly the

distribution of causes of emergencies. Quantum physics has been dealt with in the extent of ancient quantum physics, including the Dirac principle, the principle of correspondence, the principle of completeness, and wave-particle duality. Relativistic physics was focused on Einstein's theory of relativity (special and general) and physical's phenomena related to this subject.

By comparison of the structure of the emergencies and the structure of quantum and relativistic physics it was found that in the event of emergencies (lightning, radiation accident) the physical processes associated with wave-particle duality and the special theory of relativity. For this reason, the conceptual curriculum will be divided into 3 parts: emergencies, quantum and relativistic physics. Part of the emergencies contained a definition of the causes of extraordinary events. In quantum physics, wave-particle duality applied to the electron was explained, and relativistic physics was focused on a special theory of relativity, resulting in relations like longer contractions, time dilation, and the relations for Einstein's energy.

The intended curriculum originated from the transformation of the conceptual curriculum. The content of the intended curriculum has been modified for students of Civil crisis preparedness. The author was basing on the syllabus of student subjects. Students have only one subject focused on physics teaching: Selected Chapters in Chemistry and Nuclear Physics. Because this subject has not been sufficiently undertaken the author has decided that the text will be created predominantly at the level of secondary school physics.

The information processed within the conceptual and intended curriculum was used to develop an educational text (see Appendix 1). The educational text had a role in the curriculum process algorithm as a project curriculum. By creating an education text it was possible to adopt a second hypothesis: *The awareness of the professional public can be enhanced by applying the theory of the curriculum process.*

Educational test was developed by following the educational text, as an implemented curriculum-2. The education test had the form of multi-choice test. It consisted of 14 questions with four answers for each question where only one was correct.

The methods of descriptive and mathematical statistics were used to evaluate students' knowledge, which was done within the implemented curriculum-2. They consisted of individual steps - statistical survey, scaling, descriptive statistics, elementary statistical processing and nonparametric testing.

A total of 46 respondents answered the test. These respondents were students of full-time and combined forms of Civil crisis preparedness. The test was sent to them in electronic form. The results were subject to nonparametric testing, in particular Pearson splitting assay was applied. The results of this test enabled the assumption of a zero hypothesis, that is, the empirical distribution could be replaced by a normal distribution. This has confirmed the adequacy of the text and the test. The first hypothesis was confirmed by statistical methods and logical methods: *By comparing the structure causes of emergencies and the structure of quantum and relativistic physics, we can define the formalism of quantum and relativistic physics needed to research the causes of emergencies.*

Benefits of this diploma thesis:

- Theoretical benefits of work:
 - Application of the curriculum process to increase the awareness of the professional public
 - Using the statistical algorithm for hypothesis validation.
- Practical Benefits of Work:
 - The educational test and the text that are adapted for students of Civil crisis preparedness can therefore be used as part of teaching.

Key words:

Emergencies, quantum physics, relativistic physics, lighting, radiation accident

Obsah

Úvod.....	12
1. Teoretická část	14
1.1. Teorie kurikulárního procesu	14
1.2. Mimořádné události.....	15
1.2.1. Legislativa	15
1.2.2. Ochrana obyvatelstva	17
1.2.3. Evakuace.....	18
1.2.4. Definice mimořádné události.....	20
1.2.5. Dělení mimořádných událostí.....	21
1.2.6. Riziko a hrozba.....	23
1.2.7. Krizová situace a krizový stav.....	23
1.2.8. IZS (integrovaný záchranný systém).....	24
1.2.9. Krizové a havarijní plánování.....	25
1.3. Kvantová fyzika.....	27
1.3.1. Elektromagnetické vlnění.....	27
1.3.2. Kvantová čísla	28
1.3.3. Vývoj kvantové fyziky (stará kvantová teorie)	28
1.3.4. Diracův princip malosti	29
1.3.5. Princip korespondence.....	30
1.3.6. Princip komplementarity, princip neurčitosti	30
1.3.7. Vlnově korpuskulární dualismus	31
1.3.8. Vlnově korpuskulární dualismus fotonu	32
1.4. Relativistická fyzika	35
1.4.1. Doba předrelativistická.....	36
1.4.2. Speciální princip relativity.....	37
1.4.3. Obecná teorie relativity	41

1.4.4. Relativistická dynamika částice.....	42
2. Hypotézy a cíle práce	45
2.1. Metodika výzkumu	45
2.2. Metody deskriptivní statistiky	47
2.3. Metody matematické statistiky.....	50
3. Výsledky práce.....	54
4. Diskuse.....	66
4.1. Mimořádné události spojené s kvantovou a relativistickou fyzikou	66
4.2. Komparace struktury mimořádných událostí a struktury kvantové a relativistické fyziky	67
4.3. Varietní formy kurikula	68
5. Závěr	71
6. Zdroje	73
Seznam zkratk	79
Seznam obrázků	79
Seznam tabulek	79
Přílohy	80
Edukační text.....	80
Edukační test	88

Úvod

V úvodní části diplomové práce *Formalismy kvantové a relativistické fyziky při zkoumání příčin mimořádných událostí* budou shrnuty cíle a hypotézy práce, stručně popsány teorie a postupy použité v této práci.

Impulzem pro napsání této diplomové práce byl fakt, že v současné době není k dispozici edukační text věnující se vystižení podstaty vzniku mimořádných událostí za použití kvantové a relativistické fyziky. Tento text bude přizpůsoben svým zpracováním studentům Civilní nouzové připravenosti.

Autorka diplomové práce měl snahu splnit všechny cíle, které si na začátku stanovil:

- 1) Vytvořit strukturu příčin MU
- 2) Vytvořit strukturu kvantové a relativistické fyziky na úrovni staré kvantové teorie a s dominancí speciální teorie relativity
- 3) Provedení komparativní analýzy předcházejících struktur s cílem vystihnout fyzikální podstatu příčin mimořádných událostí z hlediska kvantové a relativistické dimenze fyziky
- 4) Sestavení testu umožňujícího na bázi teorie kurikulárního procesu zjistit míru informovanosti odborné veřejnosti o kvantových a relativistických aspektech MU
- 5) Aplikace testu na vhodném vzorku respondentů a statistické vyhodnocení dosažených výsledků

Na základě cílů byly stanoveny hypotézy:

- 1) Komparací struktury příčin MU a struktury kvantové a relativistické fyziky lze vymezit formalismy kvantové a relativistické fyziky potřebné pro zkoumání příčin mimořádných událostí.
- 2) Informovanost odborné veřejnosti lze zvýšit aplikací teorie kurikulárního procesu.

Jako teorie vhodná k transformování vědeckého systému do edukační sféry bude zvolena teorie kurikulárního procesu. Kurikulární proces byl vybrán, jelikož autorka předpokládá, že pro potřeby této práce bude nejvhodnější. Pomocí plnění kroků kurikulárního procesu bude vytvořen edukační text a tím bude splněna druhá hypotéza. Obsahem práce bude také provedení komparace struktury příčin mimořádných událostí a struktury relativistické a kvantové fyziky. Tímto bude dosaženo vymezení dějů

kvantové a relativistické fyziky, které se uplatňují během mimořádné události (druhá hypotéza).

Nejdůležitějším bodem metodiky práce je analyzování vědeckého systému a pomocí jeho transformace vytvoření sdělitelné formy vědeckého systému (konceptuální kurikulum). Následně bude obsah konceptuálního kurikula upravena do struktury, která bude vyhovovat možnostem adresáta (zamýšlené kurikulum) a na podkladě tohoto bude vytvořen edukační text. Jako nástroj k ověření adekvátnosti zpracování informací a edukačního textu bude vytvořen edukační test (Implementované kurikulum-1) a výsledky tohoto testu budou zpracovány pomocí statistických metod (Implementované kurikulum-2)

1. Teoretická část

1.1. Teorie kurikulárního procesu

V této diplomové práci byla zvolena teorie kurikulárního procesu pro transformaci poznatků z vědeckého systému do edukační sféry. Kurikulární proces se skládá z variantních forem kurikula, které vznikají poslopnou transformací. Tedy z jedné formy kurikula vznikne transformací druhá, avšak variantní formy kurikula mají přesně danou posloupnost: konceptuální kurikulum, zamýšlené kurikulum, projektové kurikulum, implementované kurikulum-1, implementované kurikulum-2 a dosažené kurikulum. Kurikulum lze jednoduše popsat jako obsah vzdělávání. (Průcha, 2013; Záškodný 2009)

Postupným plněním dílčích didaktických transformací kurikula dochází k naplnění didaktické komunikace fyziky. Didaktická komunikace fyziky je proces, během kterého dochází k přenosu výsledků a metod fyzikálního poznání do vědomí jedinců, jenž se nepodíleli na tvorbě daného poznatku. (Záškodný, 2009)



Obrázek č. 1: Grafické znázornění didaktických transformací jednotlivých variantních forem kurikula

zdroj: ZÁŠKODNÝ, P., 2009 *Kurikulární proces fyziky: (s přehledem základů teoretické fyziky)*. Ostrava: Algoritmus. 385 s. ISBN 9788090249103.

1.2. Mimořádné události

S mimořádnou událostí je spojeno mnoho dalších pojmů a definic. Pro lepší orientaci a pochopení dané problematiky, budou v dalších podkapitolách popsány a vysvětleny základní pojmy.

1.2.1. Legislativa

Tato část bude zaměřena na legislativu zabývající se problematikou mimořádných událostí. Budou zde stručně popsány zákony a vyhlášky, jež tuto zaměřeny na tuto problematiku celkově či s ní nějak souvisí.

Primární právní listina zabývající se ochranou obyvatel je **zákon č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému**. V tomto dokumentu jsou vymezeny jednotlivé složky IZS a jejich pravomoc a působnost, pokud to není stanoveno jiným zvláštním předpisem. Stanovuje také pravomoci a povinnosti státních a samosprávných orgánů, povinnosti a práva fyzických a právnických osob. V dalších částech jsou objasněny důležité pojmy, jako jsou ochrana obyvatel, evakuace a zařízení civilní ochrany bez právní subjektivity

Další právní předpisy

- **zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení (krizový zákon)** – tento zákon se zabývá problematikou krizových situací. Vymezuje pravomoc a působnost státních orgánů a orgánů územních samosprávných celků a povinnosti a práva fyzických a právnických osob v rámci krizového řízení. Jsou zde definovány jak opatření a povinnosti při přípravě na krizové situace, při jejich řešení, ale je tady řešena ochrana kritické infrastruktury a odpovědnost v případě porušení.

- **zákon č. 110/1998 Sb. o bezpečnosti České republiky** – jedná se o ústavní zákon, jenž upravuje zabezpečení bezpečnosti České republiky, její svrchovanosti a územní uniformity, ochranu jejích demokratických pilířů, ochranu zdraví, životů a majetku. Dále stanovuje, že pokud jsou tyto hodnoty významným způsobem ohroženy, je možno vyhlásit válečný stav, stav ohrožení a stav nouze.

- **vyhláška č. 328/2001 Sb. o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému** – tato vyhláška vymezuje vzájemnou spolupráci mezi složkami integrovaného záchranného systému, spolupráci velitelů, kooperaci vedoucích složek v místě zásahu. Upřesňuje spolupráci operačních středisek základních složek, vymezením povinností operačních a informačních středisek. Dále jsou dané

požadavky na obsah a způsob zpracování dokumentace IZS, obsah a styl zpracování havarijních plánů a podrobné informace o stupních poplachů.

- **vyhláška č. 380/2002 Sb. k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva** – v tomto dokumentu jsou podrobně zpracovány úkoly a činnosti v oblasti ochrany obyvatelstva, jako jsou informování obyvatel o charakteru případného ohrožení, varování, ukrytí, evakuace a zřízení civilní ochrany. Obecně lze říci, že tato vyhláška se více věnuje civilní ochraně.

- **zákon č 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví**, aktualizované znění v zákoně 115/2012 Sb. – tento zákon stanovuje působnost a povinnosti orgánů ochrany veřejného zdraví a podpory veřejného zdraví a povinnosti a práva právnických a fyzických osob ve sféře podpory a ochrany veřejného zdraví.

- **zákon č. 224/2015 o prevenci závažných havárií** - zákon upravující předpisy pro prevenci závažných havárií, přičemž jsou v tomto zákoně zpracovány aktuální evropské předpisy. V této právní listině jsou také vymezeny zóny havarijního plánování, podrobně jsou zpracovány požadavky na vyhotovení a obsah havarijních plánů, postihy při spáchání správního deliktu a v neposlední řadě je zde brán zřetel jak na prevenci, tak i na připravenost na řešení havárie.

- **zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně ve znění pozdějších předpisu** – v této právní listině jsou stanoveny požadavky na ochranu zdraví a životů občanů a majtkových hodnot před požárem. Jsou zde také specifikovány podmínky pro poskytnutí pomoc při živelných pohromách a ostatních mimořádných událostech upřesněním povinností správních úřadů a ministerstev, fyzických a právnických osob, povinnosti a pravomoci orgánů samosprávy a státní správy na úseku požární ochrany.

- **vyhláška č. 247/2001 Sb., o organizaci a činnosti jednotek požární ochrany** – v této vyhlášce jsou vymezeny organizační požadavky na jednotky požární ochrany, na jejich velitele, ale také požadavky na technickou a odbornou připravenost.

1.2.2. Ochrana obyvatelstva

Ochrana obyvatelstva je důležitou funkcí státního zřízení, jejíž úkolem je zajištění ochrany zdraví a života obyvatel a majetku. Ochranu obyvatelstva je nutno pojímat jako komplexní problém, jenž má nejen zřetelně daný koncept, ale i legislativní zakotvení, vědeckou podporu a realizační procesy. Ochrana obyvatelstva musí mimo jiné pružně reagovat na globální a společenskou situaci. (Líbal et al., 2017)

V globálním měřítku je používán pojem civilní ochrana, přičemž ten se nijak neliší od pojmu ochrana obyvatelstva a obě jsou rovnocenné. Celosvětovým dokumentem civilní ochrany je článek č. 61 Dodatkového protokolu k Ženevským úmluvám o ochraně obětí mezinárodních ozbrojených konfliktů. Česká republika tento dokument ratifikovala v roce 1990. (Skřehot et al., 2009)

První zmínky o organizované ochraně v našich zemích najdeme hluboko ve 20. století. Lze ji rozčlenit do několika časových segmentů, přičemž každý je charakteristický svými typickými rysy – zrcadlí situaci vývoje vnitro a mezinárodní politiky, ale i změny ve vojenském systému. (Lošek, 2013)

Ochranu obyvatelstva lze obecně charakterizovat jako souhrn činností a opatření, jejichž cílem je eliminovat nebo co nejvíce snížit negativní vliv mimořádné události. Je vykonávána prostřednictvím věcně příslušných orgánů a jiných dotčených orgánů, organizací, složek a obyvatelstva. Jejím hlavním posláním je plnit tyto úlohy: varování, ukrytí, evakuaci, nouzové přežití a zajištění ochrany majetku, kulturních hodnot, lidského života a zdraví. (Zeman et al., 2007; Lukáš et al., 2011)

Právním pilířem pro ochranu obyvatelstva je zákon 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému (viz kapitola 1.1 Legislativa). Tato právní listina také definuje důležitý pojem v oblasti ochrany obyvatelstva: zařízení civilní ochrany. Zařízení civilní ochrany je v tomto zákoně definováno jako soubor zaměstnanců či jiných osob na základě dohody a věcné prostředky. Zřízení civilní ochrany je bez právní subjektivity a spadá pod právnické osoby nebo obce.

Dalšími důležitými právními normami v oblasti civilní ochrany jsou:

- vyhláška č. 380/2002 Sb., k přípravě a provádění Úkolů ochrany obyvatelstva (tato vyhláška byla již popsána v kapitole 1.1 Legislativa)
- Koncept ochrany obyvatelstva do roku 2020 s výhledem do roku 2030 (Usnesení vlády ČR č. 805/2013) - dokument se zaměřuje na přípravu a realizaci opatření k ochraně obyvatelstva v návaznosti na dosavadní a předpokládané bezpečnostní hrozby. Současně se tento dokument také

věnuje rozvoji ochrany obyvatelstva, výchově, vzdělávání, krizovému řízení, věcným prostředkům, silám, výzkumu a vědě. (Kopecký et al., 2014)

1.2.3. Evakuace

Evakuace je jedním z primárních opatření ochrany obyvatelstva. Nejčastěji se realizuje, pokud hrozí vznik mimořádné události nebo je v počátečním stádiu. Evakuaci lze vysvětlit jako opatření, při němž dochází k přemístění obyvatel, zvířat, technického vybavení (stroje, materiály) a předmětů kulturní hodnoty z prostoru ohrožených mimořádnou událostí do prostorů, kde je zabezpečováno pro evakuované osoby náhradní ubytování a stravování, pro zvířata ustájení a pro věci náhradní uložení. Evakuace je prováděna pouze v případě, že ostatní opatření ochrany obyvatelstva jsou nedostačující. (Zpěvák et al., 2014)

Vyhláška 380/2002 Sb., k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva, říká, že evakuace se vztahuje na všechny osoby v prostoru ohroženém mimořádnou událostí s výjimkou osob, jež se budou účastnit záchranných prací, koordinace evakuace nebo se budou podílet na jiných naléhavých činnostech.

Evakuaci je možné podle různých hledisek rozčlenit na:

- objektovou – tento druh evakuace je spojen s přemístěním osob z jedné obytné nebo jiné budovy nebo nevelkého množství obytných budov, administrativních a správních budov, technologických provozů či celků. Evakuace je prováděna na podkladu požárního evakuačního plánu a jiných příslušných dokumentací.
- plošnou – evakuace je prováděna pro obyvatelstvo části urbanistického celku nebo celého urbanistického celku či se evakuační opatření vztahují na větší územní celek. (Blažková et al., 2015)

Na základě doby trvání můžou být evakuační opatření rozdělena na:

- krátkodobá – provádí se v případě, že hrozící mimořádná událost či krizový stav nejsou dlouhodobého charakteru, tudíž není zapotřebí, aby obyvatelstvo opustilo své domovy na delší dobu. V tomto případě se pro evakuované obyvatelstvo nezajišťuje náhradní ubytování. Jsou prováděny pouze některé kroky k zabezpečení přežití obyvatelstva, například zásobování teplými nápoji, dekami a jiné.

- dlouhodobá – tento typ evakuačního opatření probíhá v případě hrozby či vzniku mimořádné události nebo krizové situace, kdy je nezbytně nutno, aby obyvatelé opustili místo pobytu na více než 24 hodin. Pro obyvatelstvo, které nemá možnost vlastního náhradního ubytování, je zajišťováno nouzové ubytování. Dále jsou také v nezbytném rozsahu prováděna opatření k zabezpečení nouzového přežití obyvatelstva a k zabezpečení základních životních potřeb. (Blažková et al., 2015)

Z hlediska stylu realizace je evakuace obyvatelstva rozdělena na:

- neřízenou – v této situaci obyvatelstvo o své vůli opouští nebezpečnou zónu, přičemž si sami zajišťují ubytování. Orgány provádějící evakuaci řídí celou tuto situaci tak, aby měly kontrolu nad průběhem celé evakuace a nedošlo k žádnému ohrožení zdraví a života evakuovaných osob. Při samovolné evakuaci by měly dotyčné osoby podat tyto informace orgánům odpovědným za evakuaci.
- řízenou – orgány pověřené prováděním evakuace přímo organizují a provádějí evakuaci. Přemístění osob je prováděno pomocí vlastních či určených dopravních prostředků nebo se evakuované osoby se přemístí pěšky. (Blažková et al., 2015)

Plánování evakuace je zpracováno v dokumentu *plán evakuace obyvatelstva*, přičemž je plánována pro tyto situace:

- pro mimořádnou situaci, kdy je vyhlášen 3. nebo zvláštní stupeň poplachu
- v místech havarijního plánování jaderných elektráren a nadměrně intenzivních zdrojů ionizujícího záření
- v prostoru havarijního plánování a zařízení, kde je manipulováno s nebezpečnými chemickými látkami (Zpěvák et al., 2014)

1.2.4. Definice mimořádné události

Obyvatelé České republiky, ale také i obyvatelé jiných zemí, jsou každodenně ohrožováni vznikem potenciálního nebezpečí. V průběhu několika let došlo k významným změnám v oblasti bezpečnostně-politické situace, ale také ve společensko-sociální sféře. Díky rychlému vědeckotechnickému pokroku, dochází k zvýšené produkci a k výraznému rozvoji průmyslové výroby, zavádění nových postupů, technologií, materiálů, vzniku dalších odvětví průmyslu, přičemž je snaha o centralizaci výrobních zařízení. Pro mnohé z nás má tento pokrok pozitivní důsledky, které usnadňují náš každodenní život. Nicméně je nutno dodat, že mají negativní dopad na vznik nebezpečných situací. Tento trend se významně podílí na vzniku průmyslových havárií, nehod, přírodních katastrof a jiných mimořádných událostí. (Zeman et al., 2007)

Zákon č. 239/2000 Sb., zákon o integrovaném záchranném systému, definuje mimořádnou událost jako jakoukoliv nestandardní situaci způsobenou škodlivým účinkem sil a jevů. Tyto síly a jevy jsou výsledkem působení člověka, přírodních vlivů a havárií. Ohrožují nejen zdraví, život, životní prostředí ale i majetek. Během a bezprostředně po konci mimořádné situace je nutné provést záchranné a likvidační práce.

Mimořádné události jsou velmi nebezpečný a opakující se fenomén doby, ohrožující lidské životy, zdraví, majetek a životní prostředí. Neustále dochází ke vzniku nových hrozeb a nebezpečí spolu se změnami ve společnosti, v mezinárodní situaci a s technickým pokrokem. Proto je velmi důležité, aby společnost kladla důraz na prevenci, připravenost populace na sebeochranu a vzájemnou podporu v mezích etnických a morálních hodnot. (Černoch, 2004)

Zkoumání průběhu mimořádných událostí nám poukazuje na tzv. domino efekt. Znamená to, že dochází k působení několika jevů současně. Domino efekt má také schopnost vyvolat lavinový sled projevů. (Kopecký et al., 2014)

1.2.5. Dělení mimořádných událostí

Mimořádné události lze klasifikovat pomocí různých hledisek, jako jsou například příčina vzniku, místo vzniku nebo velikost. V rámci této práce bude použita klasifikace mimořádných událostí podle příčiny vzniku:

Přírodní (naturogenní) mimořádné události

Obyvatelé Země jsou nestále ohroženi negativními přírodními jevy, silami či nákazami, a to již od počátku samotné civilizace. Většinou se objeví neočekávaně, zpusťoší určité území, způsobí škody na majetku, hladomor, infekce, požáry, únik nebezpečných látek, znehodnocení zdroje obživy a další. Před tímto druhem mimořádné události existují určité formy ochrany.

Rozlišujeme tyto 2 druhy ochrany:

- Aktivní (například stavba protipovodňových hrází)
- Pasivní (například ukrytí, evakuace) (Kopecký et al., 2014)

Přírodní mimořádné události lze dále rozdělit na živelní (abiotické) a biologické (biotické) pohromy. (Zeman et al., 2007)

Živelné pohromy lze definovat jako prudké, těžko ovladatelné přírodní síly nebo jevy. Zpravidla se objevují se neočekávaně bez jakéhokoliv náznaku, přičemž mají silné destruktivní a pustošivé účinky. Přírodní pohromy většinou vznikají činností geofyzikálních procesů v hydrosféře, litosféře, biosféře či atmosféře. Jako příklad zde můžeme uvést zemětřesení, tsunami, povodně, tajfuny, bouře, sněhová lavina, sopečná činnost a další. (Zeman et al., 2007)

Mezi biologické pohromy se zařazují epidemie (nemoci poškozující zdraví ale i život velkého počtu lidí), epizootie (onemocnění velkého počtu zvířat) a epifytie (velké nákazy polních a zemědělských kultur). (Zeman et al., 2007)

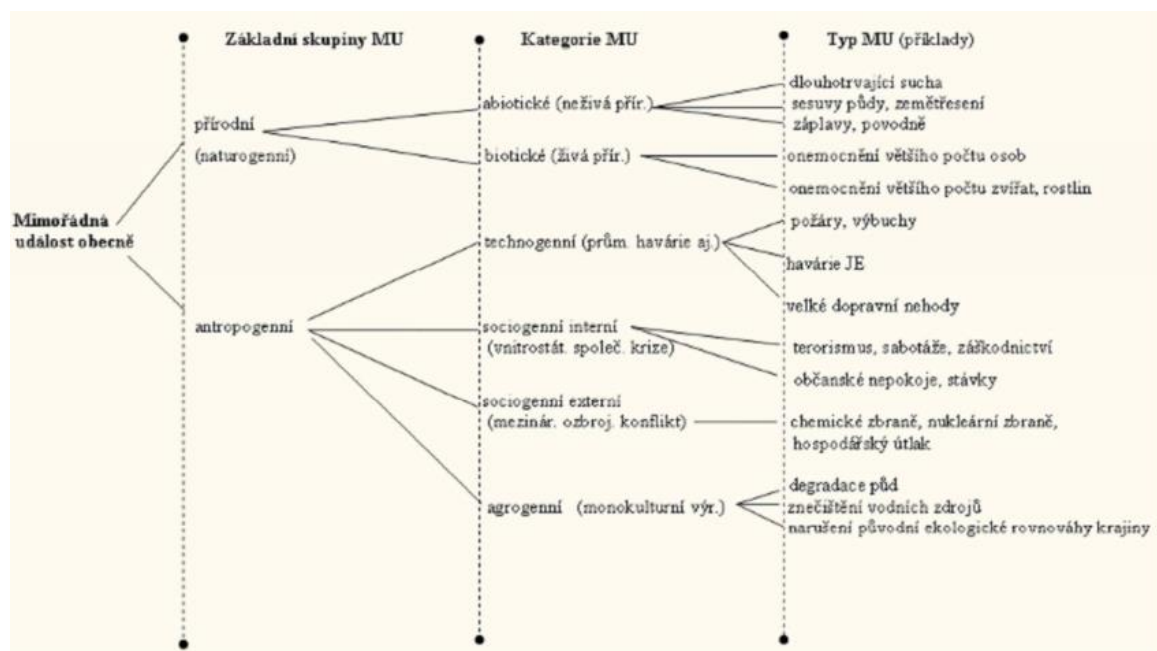
Antropogenní mimořádné události (katastrofa, havárie)

Tato kategorie mimořádných událostí je zapříčiněna nejrůznější činností lidstva. Zjednodušeně je možno říci, že se jedná o nežádoucí příhody (hromadná nehoda či neštěstí), během nichž dochází k uvolnění neregulovatelné množství energií a hmot. To způsobuje poškození či narušení budov, strojů, různých technologických, provozních, skladových a jiných zařízení, dopravních prostředků, lodí, letadel a jiných prostředků. Dochází také k ohrožení lidských životů a zdraví, majetku, ale i životního prostředí. Antropogenní mimořádné události je možné dále rozčlenit na technogenní (provozní

havárie, automobilové nehody apod.), sociogenní (zapříčiněné společností) a agrogenní (související se zemědělstvím, půdou a vodními zdroji). Velké množství havárií je způsobeno neopatrností či selháním lidského faktoru, proto je velmi důležité dbát dodržovat základní bezpečnostní pravidla. Jak se již v minulosti ukázalo nejnebezpečnější antropogenní události jsou často způsobeny záměrně (žhářství, válka, terorismus). (Zeman et al., 2007)

Smíšené (synergické) události

U smíšené (synergické) události dochází k situaci, že primární mimořádná událost zapříčiní vznik jiné sekundární události. Většinou tyto události probíhají souběžně. Jako příklad lze uvést výbuch. Při výbuchu vzniká tlaková vlna, dochází k rozmetání úlomků, rozvoji požáru či rozšíření nebezpečných látek do okolí. (Nováková et al., 2011)



Obrázek č. 2: Rozdělení mimořádných událostí

Zdroj: VEVERKA, I., 2003. *Vybrané kapitoly krizového řízení pro záchranářství*. Praha: Vydavatelství PA ČR. 175 s. ISBN 9788072511266.

1.2.6. Riziko a hrozba

Hrozbu můžeme definovat jako jakýkoliv jev, jenž má potencionální schopnost poškodit určité chráněné hodnoty či zájmy společnosti. (Nováková et al, 2011)

Riziko vyjadřuje pravděpodobnost, že dojde k události, jež zasáhne určité zájmy nebo hodnoty. Riziko je vždy považováno za nežádoucí a je možno jej odvodit a je odvoditelné z určité hrozby. Díky tzv. analýze rizik je možné odhadnout míru rizika, která vyjadřuje pravděpodobnost škodlivých následků plynoucích z hrozby a zranitelnosti hodnot či zájmů. (Nováková et al, 2011)

1.2.7. Krizová situace a krizový stav

Slovo krize má původ v řeckém slovu „krisis“. V dnešní době je krize vnímána jako situace, během níž je narušen či poškozen rovnovážný stav mezi primárními charakteristikami systému. Může také dojít k narušení postoje a vnímání daného systému okolním prostředím. (Roudný et al, 2004)

Charakteristické rysy krize:

- Skoro pokaždé je spojena s nějakou hrozbou.
- Není častým jevem a dá se těžce předvídat její čas a lokalita výskytu.
- Prakticky vždy má sociální důsledky a vícerozměrné dopady, přičemž primární krize může vyvolat vznik další anebo můžou probíhat dvě souběžně.
- Pro zainteresované osoby představují mentální a emocionální zátěž, jež se projevuje napětím, zmatkem.
- Krize jsou zvládnutelné, nicméně je nutné začít bezprostředně s jejich řešením.
- Informace, na jejichž podkladě jsou krize řešeny, bývají zpravidla neurčité neúplné a konfliktní. (Roudný et al, 2004)

Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení, definuje krizovou situaci jako mimořádnou událost závažnějšího charakteru. Pokud tato situace nastane, jsou ohroženy významné zájmy, hodnoty nebo majetek státu a jeho obyvatel. Hrozící nebezpečí není možné vyřešit běžným konáním správních úřadů, záchranných sborů, ozbrojených bezpečnostních sborů a ozbrojených sil, havarijních a jiných složek a fyzických a právnických osob.

Pokud nastane krizová situace, je vyhlášen krizový stav. Jsou rozlišovány základní 4 krizové stavy:

- stav nebezpečí – Byl vytvořen pro zvládnutí nežádoucích situací, jako jsou živelné pohromy, nehody či ostatní nebezpečí, ekologické či průmyslové havárie, v případě ohrožení zdraví, života, životního prostředí nebo majetku. Vyhláší jej hejtman kraje, popřípadě primátor hl. m. Prahy.
- nouzový stav – Nouzový stav se vyhláší za stejných situací jako stav nebezpečí, nicméně krizová situace zasahuje víc jak jeden kraj. Vyhláší jej vláda nebo předseda vlády.
- válečný stav – Jedná se o stav, kdy jsou přímo ohroženy svrchovanost státu, jeho demokratické základy anebo územní celistvost. Vyhláší jej parlament.
- stav ohrožení státu – Je vyhlášen parlamentem na návrh vlády, pokud je stát bezprostředně napaden či je povinen plnit závazky mezinárodní smluv o kolektivní obraně proti napadení. (Jakubcová et al., 2013)

V zákoně 240/2000 Sb., o krizovém řízení je ještě vymezen velmi důležitý pojem krizové řízení. Obecně lze říci, že se jedná o soubor řídicích činností vykonávaných orgány krizového řízení za účelem zhodnocení a analýzy bezpečnostních rizik a kontroly činností prováděných v rámci přípravy na krizové situace a jejich řešení, ale také je zde řešena ochrana kritické infrastruktury.

1.2.8. IZS (integrováný záchranný systém)

Integrovaný záchranný systém (dále jen IZS) se začal rozvíjet v roce 1993 – usnesení č. 246+P/1993. Prvním zákonem věnujícím se pouze IZS je zákon 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému. Byl to průlomový zákon, jelikož je v něm podrobně řešena koordinace a kompetence při záchranných a likvidačních pracích. (Smetana, 2011)

IZS lze popsat jako vícesložkový bezpečnostní systém. Úkolem těchto složek je koordinovaný postup během provádění preventivních, likvidačních, záchranných a obnovovacích prací, které je potřeba provádět ke zvládnutí mimořádné události. (Lukáš, 2011).

Složky IZS spolu navzájem spolupracují v mezích zákona, který jim ukládá právní řád České republiky. Jedním z cílů IZS je vzájemně propojit koordinační, výkonné i řídicí funkce při řešení této nežádoucí situace za účelem jejího nejrychlejšího a nejefektivnějšího zvládnutí. Úkolem tohoto systému je také snaha co nejvíce těmto situacím předejít, proto je kladen velký důraz na prevenci. (Mika, 2007)

Pro lepší koordinaci zásahu na místě nebezpečí byla zřízena operační a informační střediska IZS. Ta má oprávnění povolávat a nasazovat prostředky a síly (HZS, jednotky požární ochrany a ostatní složky IZS) na základě poplachového plánu IZS nebo na podnět velitele zásahu. (Smetana, 2011)

Zákon 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému, rozděluje IZS do dvou hlavních skupin, které jsou tvořeny jednotlivými složkami

a) základní složka:

- Hasičský záchranný sbor České republiky, jednotky požární ochrany zařazené do plošného pokrytí kraje jednotkami požární ochrany
- Policie ČR
- poskytovatelé záchranné zdravotnické služby

b) ostatní složky:

Ostatní složky integrovaného záchranného systému jsou síly a prostředky, jež na vyžádání poskytnou pomoc při záchranných a likvidačních pracích. Mezi ostatní složky integrovaného záchranného systému se zařazují vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil, ostatní ozbrojené bezpečnostní sbory, ostatní záchranné sbory, orgány ochrany veřejného zdraví, havarijní, pohotovostní, odborné a jiné služby, zařízení civilní ochrany, neziskové organizace a sdružení občanů

1.2.9. Krizové a havarijní plánování

Za účelem přípravy a řešení nebezpečných situací se vypracovává řada dokumentů. V této podkapitole se budeme zabývat pouze krizovým a havarijním plánováním. (Smetana, 2011)

Krizové plánování se zabývá všemi krizovými situacemi, například dlouhodobými suchy a horky, lesními požáry, dlouhodobými nízkými teplotami, povodni, silným větrem atd. Základním dokumentem je krizový plán. Krizový plán se zpracovává na základě požadavků a náležitostí daných zákonem 240/2000 Sb., o krizovém řízení. Krizové plánování se rozděluje do dvou kategorií a to na krizové plánování určené pro řešení vojenských situací a pro řešení nevojenských situací. (Smetana, 2011)

Havarijní plánování slouží k přípravě a řešení havárií. Následky havárii mohou být velké. Většinou dochází k ohrožení zaměstnanců, ale i obyvatel a okolní přírody ležící v blízkosti průmyslového zařízení. Z tohoto důvodu zákon o IZS ukládá povinnost

krajskému úřadu při výkonu státní správy zpracovávat havarijní plán. Jednoduše můžeme říct, že havarijní plán je jakýsi „manuál“ jak postupovat pokud vznikne havárie. Jeho hlavním účelem je zmírnění nežádoucích následků. Rozlišujeme vnitřní a vnější havarijní plán. Vnitřní se zabývá bezpečnostními předpisy upravujícími činnosti uvnitř objektu, vnější naopak vně objektu. (Procházková, 2008; Procházková, 2009)

Vyhláška 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému, určuje způsob a náležitosti jeho zpracování. Havarijní plán kraje je zpracováván pouze v případě, pokud by nastala mimořádná událost třetího nebo čtvrtého stupně poplachu. Pro zpracování havarijního plánu kraje jsou využívány podklady od právnických osob a podnikajících fyzických osob a pověřených správních úřadů nebo obecních úřadů. Vnější havarijní plán je zpracováván stejným způsobem. Je vypracováván pro jaderné elektrárny a pracoviště IV. kategorie (definovaných v atomovém zákoně), kde je nakládáno s nebezpečnými chemickými sloučeninami a látkami a mohlo by dojít k havárii.

Vnější havarijní plán a zákon 224/2015 o prevenci závažných havárií - zákon upravující předpisy pro prevenci závažných havárií, přičemž jsou v tomto zákoně zapracovány aktuální evropské předpisy.

1.3. Kvantová fyzika

Kvantová fyzika je velmi důležitá pro dnešní moderní společnost, jelikož byla velmi nápomocná při důležitých objevech v historii vědy. Obecně lze říci, že je ucelenou nerelativistickou teorií, jež se zabývá popisem a objasněním povahy mikroobjektů mající klidovou hmotnost rozličnou od nuly. Kvantová mechanika byla vystavěna na dvou zcela nezávislých pokusech, které však byli ekvivalentní. Jedná se o experimenty zkoumající intenzitu čar ve spektrech záření a vlnově korpuskulární dualismus. (Úlehla et al., 1990)

Díky kvantové fyzice můžeme především lépe porozumět, jak věci reálně fungují a lépe pochopit i svět okolo nás. (McPhee, 2010)

Model kvantové fyziky byl formulován mnohem později než model klasické fyziky. Klasická fyzikální mechanika popisuje svět kolem nás tak, jak ho vidíme a vnímáme našimi smysly. K formulaci snad nejznámější teorie klasické fyziky (Newtonovy zákony) stačilo jablko. Můžeme tedy s troškou nadsázky říci, že při matematické formulaci napomohla intuice. Naopak cesta k formulaci jakéhokoliv kvantového modelu byla mnohem náročnější. Nejprve musely být objeveny stavební části a vyzkoušeny při těch nejzvláštějších experimentech. (Králíček, 2004)

Pro potřeby této diplomové práce bude rozebrána pouze stará kvantová teorie.

1.3.1. Elektromagnetické vlnění

Než budou definovány fyzikální zákony kvantové fyziky, je dobré si vysvětlit pojem elektromagnetické vlnění. Elektromagnetické vlnění (elektromagnetické záření) lze popsat jako příčně postupné vlnění magnetického a elektrického pole, která se rozdělují do různých spektrálních oblastí, například viditelné záření, ultrafialové záření nebo rentgenové záření. (Urbanová et al., 2000)

Při vzájemném působení elektromagnetické vlnění a transparentních látek většinou dochází k odrazu nebo lomu elektromagnetického vlnění do prostoru. Tato interakce se nazývá „pasivní“. Naopak pokud nastane „aktivní“ interakce je záření částečně absorbováno (pohlčeno) a z části odraženo. Pohlcení záření je ovlivněno vlnovou délkou a na tomto je postaven princip vidění. Lze to vysvětlit na příkladu dopadu viditelného světla na látku. Pokud dojde k pohlcení červené a modré oblasti spektra, je tato látka vnímána jako zelená. Obecně lze říci, že látky tmavších odstínů mají vyšší schopnost absorpce než látky světlejší. (Urbanová et al., 2000)

1.3.2. *Kvantová čísla*

Spolu se vznikem kvantové mechaniky vyvstala otázka, jak přejít od klasické mechaniky ke kvantové mechanice. V kvantové mechanice pro identifikaci stavu fyzikálního systému, jako je atom, jádro a subatomární částice, byla zavedena kvantová čísla. Kvantová čísla popisují vlastnosti, jako je energie, hybnost, náboj, baryonové číslo a leptonové číslo. (Shukla, 2008).

Rozlišujeme 4 kvantová čísla:

- Hlavní kvantové číslo: popisuje energetickou hladinu atomu nebo slupky či orbitalu. Maximální hodnota tohoto čísla je $2n^2$.
- Vedlejší kvantové číslo: popisuje podslupku dané slupky atomu, které označujeme s, p, d, f.
- Magnetické kvantové číslo: stanovuje orientaci orbitalu v prostoru
- Spinové magnetické kvantové číslo: vyobrazuje vnitřní moment hybnost u elektronů. (Soult et al., 2012)

1.3.3. *Vývoj kvantové fyziky (stará kvantová teorie)*

Kvantová fyzika se začíná formovat od roku 1900. V tomto roce Max Planck se ve své práci vyslovil hypotézu, ve které říká, že energie oscilátoru může mít pouze velikost specifických diskrétních hodnot:

$$E_n = nh\nu. \quad [1]$$

V tomto vztahu je n celé číslo, ν zastupuje frekvenci oscilátoru a h vyjadřuje Planckovu konstantu, která nabývá velmi nízké hodnoty $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$. Z tohoto vztahu vyplývá skutečnost, že pokud energie nenabývá stejných (spojitých) hodnot, má pouze velikost diskrétních hodnot. O této energii říkáme, že je kvantována. Nicméně pokud bychom pozorovali energii oscilátoru v makroskopickém měřítku, došli bychom k závěru, že rozdíl mezi jednotlivými diskrétními hodnotami energie (energetické hladiny) není nijak patrný a energie oscilátoru by vykazovala spojitě hodnoty. (Urbanová et al., 2000)

Albert Einstein použil ve své práci Planckovu hypotézu a díky ní se mu podařilo vysvětlit princip fotoelektrického jevu. K formulaci využil také výsledky pokusů Philla Lenarda, které vysvětlil tak, že energie ve formě fotonů musí být pohlcena v kvantech.

Výsledkem Einstenovy práce je rovnice fotoelektrického jevu, jež vytyčuje kinetickou energii fotoelektronu E_{ke-} :

$$E_{ke-} = h\omega + W \quad [2]$$

h je Planckova konstanta, ω je frekvence fotonu a W je vstupní práce elektronu. (Fowler, 2006)

V roce 1924 Louis de Broglie svou hypotézou položil základ vlnově-korpuskulárního dualismu. Tento fyzikální jev bude popsán v následující podkapitole (2.7 Vlnově-korpuskulární dualismus).

Nové poznatky v kvantové fyzice inspirovaly dánského fyzika Nielse Bohra k formulování jeho modelu atomu. Je vybudován na těchto předpokladech:

- Atomy se mohou vyskytovat výhradně v diskrétních stacionárních stavech, jenž jsou charakterizovány energiemi $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$
- Dovolené stavy jsou definovány Bohrovým postulátem o kvantování momentu hybnosti, jenž lze zapsat do matematického tvaru:

$$L = n\hbar \quad [3]$$

n je celé číslo a \hbar je redukovaná Planckova konstanta ($\hbar = \frac{h}{2\pi}$)

- Při přechodu elektronu z vyššího do nižšího stavu dojde k uvolnění energie ve formě fotonu. Tuto energii lze zapsat do tvaru: (Zettili, 2009)

$$h\nu = E_n - E_m \quad [4]$$

1.3.4. Diracův princip malosti

Pokud chceme zkoumat kvantový objekt (zpravidla mikroobjekt) musíme použít přístroj. Nicméně pokud chceme mikroobjekt pozorovat, musíme jej převést do jiného stavu, než v jakém se nacházel před pozorováním. Jako příklad můžeme uvést elektrony v atomovém obalu, které se za účelem pozorování transformují do excitovaného stavu. Při pozorování makroobjektu nedochází k jakékoliv změně stavu, jelikož během pozorování vzniklé deformace jsou tak malé, že je můžeme zanedbat. U mikroobjektu však tyto deformace není možné zanedbat. Prostřednictvím přístroje získáme informace o odlišném stavu, než který jsme chtěli zkoumat. (Záškodný, 2005)

Duracův princip malosti praví: Obecně lze říci, že existuje v přírodě hranice absolutní malosti pro zkoumání fyzikálních předmětů. U zkoumání provedeného nad touto pomyslnou hranicí můžeme opomenout poruchy a chyby způsobené tímto

zkoumáním a využít klasickou mechaniku. Naopak pod touto hranicí poruchy a chyby měření se musí stát prvkem nové teorie, a to kvantové mechaniky. (Záškodný, 2005)

1.3.5. Princip korespondence

V předchozím odstavci jsme si odpověděli na otázku, za jakých podmínek je možné přejít z klasické mechaniky do kvantové mechaniky a naopak. V kvantové mechanice jsou stavy popsány pomocí kvantových čísel (viz podkapitola 1.3.2 Kvantová čísla). Nejnižší hodnotu z kvantových čísel má hlavní kvantové číslo. Představme si, že by „trajektorie elektronu“ vodíkového atomu měla o poloměr 1 cm. V tomhle případě by kvantové číslo nabývalo hodnoty $n = 10\,000$. Pro potřeby teorie je možné si takto velký vodíkový atom představit. (Záškodný, 2005)

Princip korespondence: *V limitě velkých kvantových čísel se stírá rozdíl mezi klasickou a kvantovou mechanikou – pro velká kvantová čísla kvantová mechanika dává stejné výsledky jako mechanika klasická. (Záškodný, 2005, s 131)*

1.3.6. Princip komplementarity, princip neurčitosti

Heisenbergův princip neurčitosti popisuje základní odlišnosti klasické a kvantové mechaniky. Říká, že existuje přímá spojitost mezi polohou a hybností elektronu v mikroskopické fyzice, nicméně nejsme schopni změřit hodnotu těchto veličin během jakéhokoliv časového okamžiku. Heisenbergova relace pracuje pouze s x-ovou složkou hybnosti. Čím více víme o poloze elektronu, tím méně informací máme o hybnosti. Z tohoto plyne, že nemůžeme současně určit přesnou polohu a hybnost. Z těchto důvodů kvantová mechanika nepracuje s trajektorií a rychlostí, určuje se pouze pravděpodobnost výskytu („pravděpodobnostní oblak“). (Walter, 2011; Reichl at al., 2006)

Princip komplementarity:

Základní odlišnost mezi klasickou a kvantovou mechanikou spočívá v tom, že kvantová mechanika pracuje s dvojicemi veličin nebo pojmů, jejichž hodnoty nebo projevy nemohou být zjištěny současně, k úplnému popisu stavu je však potřebná celá dvojice. Takovým dvojicím náleží název „dvojice komplementárních veličin nebo pojmů“ (Záškodný, 2005, s 132)

1.3.7. Vlnově korpuskulární dualismus

Vlnově korpuskulární dualismus popisuje vlastnosti mezi komplementárními veličinami (pojmy). Dualismus v tomto případě popisuje, že částice má obě vlastnosti (vlnové a korpuskulární) současně. Tyto vlastnosti se projeví v souvislosti, jakým způsobem je částice měřena. Z toho vyplývá, že podle toho jaký způsob měření zvolíme, můžeme objekt popsat jejím korpuskulárním nebo vlnovým charakterem. Nicméně nemůžeme v jeden okamžik zkoumat obě vlastnosti. (Walker, 2014)

Existenci vlnově korpuskulárního dualismu potvrdil v roce 1924 francouzský fyzik Louis de Broglie. Jednou z myšlenek de Broglie je, že vlnově korpuskulární dualismus není charakteristickým rysem světelných jevů, ale všeobecnou vlastností částic. Podle této teorie každá vlnová délka λ_{BDV} pohybujícího se tělesa má hodnotu de Broglieho vlny dle vzorce:

$$\lambda_{BDV} = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad [5]$$

kde h je Planckova konstanta, p je hybnost tělesa, m je hmotnost tělesa a v je rychlost tělesa. (Králová, 2015)

Jednoduše můžeme zjistit, že vlnová rychlost (ω) de Broglieho vlny je větší než rychlost světla: (Králová, 2015)

$$\omega = h\lambda = \frac{h}{mv} \cdot \frac{m \cdot c^2}{h} = \frac{c^2}{v} > c \quad [6]$$

$$\text{frekvenci } f \text{ jsme odvodili ze vztahu: } f = \frac{E}{h} = \frac{m \cdot c^2}{h}$$

Z výše uvedeného vztahu vyplývá pojem „pravděpodobnostní vlna“ či „pravděpodobnostní oblak“ a spolu s tímto získáváme také jejich vyjádření komplexními funkcemi a čísly. Pokud provedeme součin komplexního čísla spolu s jeho komplexním sdružením, dostaneme reálné číslo. Toto číslo reprezentuje čtverec amplitudy de Broglieovy pravděpodobnostní vlny. Zjednodušeně můžeme říci, že tato amplituda představuje pravděpodobnost, kde bude lokalizována látková částice a v jakém čase. (Záškodný, 2005)

V následující tabulce jsou zapsány fyzikální jevy a dále je zaznačeno, zda je podstatu tohoto fyzikálního jevu možno vysvětlit pomocí vlnové povahy nebo částicové povahy:

Tabulka č. 1: Shrnutí jevů a jejich možné vysvětlení

Fyzikální jev	Je možno vysvětlit za pomoci vlnové povahy	Je možno vysvětlit za pomoci částicové povahy
odraz	ano	ano
lom	ano	ano
interference	ano	ne
rozptyl	ano	ne
polarizace	ano	ne
fotoelektrický jev	ne	ano

Zdroj: NAVE, C. R., 2016., *Wave-particle Duality: Light* [online]. [cit. 2018-04-09]. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod1.html>

1.3.8. Vlnově korpuskulární dualismus fotonu

Jeden foton lze popsat jako „vlnový balík“ nebo „Gaussián“. Jako příklad vlnového balíku můžeme uvést intenzitu elektrického pole, která se koncentruje jen ve specifických „malých“ zónách prostoru a pohybuje se rychlostí, jejíž velikost se rovná rychlosti světla. Pro zkoumání fotonu je důležité použít vlnově korpuskulární dualismus. Nejprve je důležitější vytvořit žádoucí model fotonu (vlnový balík, „Gaussián“) a poté bude definována vlnová a korpuskulární stránka fotonu. (Záškodný, 2006)

Základem pohybového zákona vlnění je rovnice pro postupné vlnění pohybujícího se ve směru kladné poloosy osy x : (Záškodný, 2006)

$$y = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad [7]$$

Abychom definovali pohybový zákon elektromagnetického vlnění, musí být dodrženy následující podmínky: vektor intenzity \vec{E} má složku E_y nenulovou a zároveň vektor magnetické indukce \vec{B} má složku B_z nenulovou. Zároveň budou zachovány podmínky Maxwellovy rovnice pro volné elektromagnetické pole. Poté můžeme zjednodušeně zapsat pohybový zákon elektromagnetického vlnění ve tvaru: (Záškodný, 2006)

$$E_y = E_0 \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) = E_0 \cos(\omega t - kx), B_z = B_0 \cos(\omega t - kx) \quad [8]$$

V tomto vzorci k zastupuje vlnové číslo, pro něž platí $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$

Matematicky definujeme vlnový balík jako interference dvou elektromagnetických vln:

$$E = 2E_0 \cos \left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t - \frac{k_1 - k_2}{2} x \right) \cos \left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \frac{k_1 + k_2}{2} x \right) \quad [9]$$

Člen $2E_0 \cos \left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t - \frac{k_1 - k_2}{2} x \right)$ reprezentuje „dlouhou“ vlnu, která má dlouhou vlnovou délku, malou frekvenci a rychlost šíření je rovna rychlosti světla. Uvnitř „dlouhé“ vlny je možné rozpoznat modely vlnových balíků. (Záškodný, 2006)

Tento prvek rovnice $\cos \left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \frac{k_1 + k_2}{2} x \right)$ reprezentuje rychle se přeměňující část vlny s malou vlnovou délkou a s velkou frekvencí nacházející se v nitru vlnových balíků „dlouhé“ vlny. (Záškodný, 2006)

Pokud chceme napsat obecnou rovnici vlnového balíku zobrazující interferenci nekonečně mnoha vln ze spojitého intervalu, přičemž budou mít různé frekvence $\omega = ck$, můžeme použít tento tvar: (Záškodný, 2006)

$$E(y, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_0 f(k) g(\omega t - kx) dk = \int_{-\infty}^{+\infty} E_0 f(k) g \left(ck \left(t - \frac{x}{c} \right) \right) dk \quad [10]$$

V této rovnici prvek $E_0 f(k)$ reprezentuje „dlouhou“ vlnu, která je popsána tzv. spektrální funkcí $f(k)$. Prvek $g(\omega t - kx)$ představuje rychle se měnící část v nitru vlnového balíku. (Záškodný, 2006)

Výběr spektrální funkce $f(k)$ bude stejný jako Gaussovo normální rozdělení. (Záškodný, 2006)

$$f(k) = \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(k - k_0)^2}{2\sigma_k^2} \right) \quad [11]$$

Vlnové vlastnosti fotonu

Elektromagnetická energie se šíří v kvantech $\hbar\omega_0$ ($k_0 = \frac{\omega_0}{c}$) pomocí vlnových balíků mající střední úhlovou frekvenci ω_0 a souhrnnou energii $\hbar\omega_0$. Jak již bylo zmíněno v předchozích odstavcích, modelem fotonu je vlnový balík. Stav látkové částice představuje vlnová funkce Ψ . Pokud vlnovou funkci Ψ vynásobíme komplexním sdružením Ψ^* získá údaj o pravděpodobnostní hustotě lokalizace látkové částice. Analogicky k předchozí operaci je možné provést vynásobení spektrální funkce $f(k)$ spolu s jejím komplexním sdružením $f(k)^*$. Tento součin pak lze vysvětlit jako pravděpodobnostní hustotu vlnového čísla k fotonu. Na závěr je důležité upozornit na rozdílnost pravděpodobnostní interpretace fotonu a vlnové stránky látkových částic. U fotonu mluvíme o pravděpodobnosti vlnového čísla, naopak u látkových částic se jedná o pravděpodobnostní výskyt. (Záškodný, 2005)

Korpuskulární vlastnosti fotonu

Myšlenku, že kvanta elektromagnetického záření se chovají jako hmotný objekt, vyslovil již Einstein. Nicméně tuto skutečnost potvrdil až Artur Holly v roce 1922. (Prachař, 2005) Podal přímý a průkazný důkaz o korpuskulární povaze fotonů. Provedl experiment s tvrdým rentgenovým zářením, jehož vlnová délka byla 0,07 nm a jeho kvanta mají vysokou energii, kterou můžeme vyjádřit pomocí rovnice $E = hf = 17,8 \text{ keV}$. Rovnoběžný paprsek tohoto rentgenového záření dopadalo na uhlíkovou destičku a následně Compton zjišťoval frekvenci záření rozptýleného pod odlišnými úhly. Vypozoroval, že kvanta záření je možné připodobnit k malým pružným kuličkám, která narážely do elektronů v uhlíkové destičce. (Záškodný, 2005)

Korpuskulární vlastnosti fotonu popisují veličiny hmotnost a hybnost. Pokud má foton klidovou hmotnost můžeme hmotnost a hybnost zapsat: (Záškodný, 2005)

$$m = \frac{\hbar\omega}{c^2}, p = \frac{\hbar\omega}{c} \quad [12]$$

1.4. Relativistická fyzika

V období před vznikem relativistické fyziky byl používán klasický princip relativity. V mechanice relativního pohybu se uplatňovaly Newtonovy zákony a Galileiho transformace prostoročasových souřadnic. Pro klasickou mechaniku byly tyto vztahy zcela dostačující. Nicméně časem se zjistilo, že klasický princip relativity nelze aplikovat na řešení všech fyzikálních problémů. (Vybíral, 2008)

Nedostatky a chyby se ukáží až při velkých rychlostech, jejichž velikost je stejná nebo skoro stejná jako rychlost světla, která je rovna 300 000 km/s. V těchto případech je potřeba použít Einsteinovu speciální teorii relativity, která je základním pilířem relativistické fyziky. Obecně lze říci, že teorie relativity zkoumá vlastnosti a vztahy prostoru a času pohybujících se ve vztažné soustavě, ale také definuje dokonalejší teorii gravitace. Její poznatky byly velmi průlomové a spolu s kvantovou fyzikou jsou základními prvky moderní fyziky. (Kusala, 2005, Vybíral, 2008)

Zkoumání relativistických objektů

Pokud je objektem zkoumání relativistický předmět nebo relativistický předmět s extrémně velkými hustotami musíme k němu použít přístroje. Tyto předměty nejsou tedy přímo pozorovatelné a pro její zkoumání nemůžeme použít klasický model zkoumání (fenomén – představa – pojem – matematický vztah – pokus - aplikace). Pro relativistické zkoumání byl navržen nový odlišný model:

- fenomén
- pokus (k opatření informací o relativistickém předmětu je potřeba použít přístroj)
- matematický model (jedná se o abstraktní model využívající matematické výsledky k popsání soustavy)
- pojem (pojem vznikl bez přímého styku se zkoumaným fenoménem)
- představa (představa založená na zkušenostech ze starších případů)
- aplikace (Záškodný, 2005)

1.4.1. Doba předrelativistická

Nejstarší spekulace o vzájemných polohách tuhých těles byly postaveny na existenci Eukleidovské geometrie a hypotéze, že v kartouzském souřadnicovém systému jsou všechny směry v prostoru nebo konfigurace fyzikálně ekvivalentní. V předrelativistické fyzice byl také řešen problém, jak vypočítat souřadnice x_v' a t' vzhledem k inerciální soustavě K' , pokud máme údaje x_v a t vzhledem k inerciální soustavě K . Byly stanoveny tyto dvě hypotézy:

1. Čas je absolutní: pokud máme čas t' události vztažený ke K' bude také její čas vztažený ke K stejný.
2. Délka je absolutní: pokud je interval, mající délku s , poměrně v klidu vzhledem ke K , potom má také stejnou délku s vůči soustavě K' , jenž vzhledem ke K vykonává pohyb. (Einstein, 2016)

Na těchto hypotézách jsou založeny výpočty Galileových transformací. Pomocí nich Isaac Newton vybudoval klasickou mechaniku. Klasická mechanika uplatňovala postulát o existenci absolutního času a absolutního prostoru, v němž je platná Euklidova geometrie. Nicméně už na začátku měla tato teorie trhliny. Nebylo možné najít absolutní prostor, který by mohl být spojen s privilegovanou vztaznou soustavou. Mechanické pokusy byly v tomto případě nedostačující, i přestože se o to pokoušel sám Isaac Newton například ve svém známém pokusu, kdy použil rotující vědro. (Vybíral, 2000)

I přes všechny nedostatky klasické mechaniky se někteří fyzikové v 19. století domnívali, že teorie mechaniky (dnes již považována za klasickou mechaniku obsahující Galileovy transformace) je zcela hotová. V druhé polovině 19 století významný fyzik James Clerk Maxwell formuloval základní soustavu rovnic elektromagnetického pole. Ve své práci popsal svoji dedukci, že fyzikální zákony a rychlost šíření jsou totožné jak pro elektromagnetické vlnění, tak i pro světlo. Nutno ještě podotknout, že Maxwell odvodil rovněž vlnové rovnice. Nicméně Maxwellovy rovnice nebyly invariantní vzhledem k Galileově transformaci. V Maxwellových rovnicích vyplývá vztah rychlost světla ve vakuu a je možno ji zapsat do tohoto tvaru: (Bednařík, 2011)

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 299792458 \text{ m/s} \quad [13]$$

Ze vztahu Galileovy transformace vyplývá následující fakt: rychlosti, které přecházejí mezi inerciálními soustavami, se sčítají (skládají). Vzhledem k tomuto faktu, bylo potřeba eliminovat všechny vztažné soustavy, v nichž by rychlost šíření světla nebyla stejná jako ta, jež je odvozena z elektromagnetické teorie. Elektromagnetické pole bylo popsáno jako mechanický stav ve vše prostupujícím speciálním prostředí nazvaném éter. (Bednařík, 2011)

V 19. století bylo provedeno mnoho pokusů za účelem zjištění existence domnělého étheru. Tyto experimenty se setkaly s velkými potížemi. Bylo nutné nalézt vztažnou soustavu, vzhledem ke které by byl éter v klidu. Fyzici A. A. Michelson a E. W. Morley provedli přesné pokusy, podle nichž zjistili, že neexistuje absolutní pohyb vůči éteru a že ve všech inerciálních soustavách je rychlost světla ve vakuu stejná. Tato rychlost není závislá na rychlosti zdroje a jeho druhu. Z těchto experimentů vyplývá, že nemůžeme stanovit absolutní pohyb a že všechny vztažné soustavy jsou úplně rovnocenné. (Bednařík, 2011)

1.4.2. Speciální princip relativity

Albert Einstein vydal v německém periodiku *Annalen der Physik* článek s názvem *Zur Elektrodynamik bewegter Körper (K dynamice pohybujících se těles)*. V tomto článku Einstein popsal své myšlenky jak skloubit mechanický (klasický, Galileův) princip relativity, který je nekovariantní s Maxwellovými rovnicemi, nebo invarianci Newtonových zákonů vůči Lorencovým transformacím. Ve své práci došel k závěru, že problém je možno vyřešit dvěma způsoby:

1. Obměnit Maxwellovu teorii elektromagnetického pole, aby byla kompatibilní s Galileovými transformacemi
2. Zachovat existenci Lorenzových transformací, ale musí být pozměněny zákony klasické mechaniky, tak aby byly invariantní s těmito transformacemi a zároveň s Maxwellovými rovnicemi.

→ Einstein ve své práci zvolil druhý postup. (Einstein, 1909)

I když jsou Lorenzovy a Einsteinovy rovnice v mnohém stejné, nacházíme významné rozdíly v jejich fyzikálním pojetí. Einstein popírá existenci éteru Lorenzova typu a ani se nezmiňuje o absolutním prostoru a času. Ve své práci popisu je svou teorii o relativních pohybech inerciálních vztažných soustav, platící nejen pro mechanické, ale i elektrodynamické jevy. (Vybíral, 2008)

Jednodušeji řečeno teorie relativity vysvětluje, jak je prostor a čas navzájem spojen s objekty, které se pohybují rovnoměrnou rychlostí. (Howell, 2017)

Výsledkem Einsteinovy práce je sepsání základních dvou postulátů ve speciální teorii:

- I. *Speciální princip relativity: Fyzikální zákony mají stejný tvar ve všech inerciálních soustavách souřadnic.*
- II. *Princip stálé rychlosti světla: Rychlost světla ve vakuu má stejnou velikost ve všech inerciálních soustavách. (Mikš et al, 2013, s 111)*

První postulát speciální teorie relativity reprezentuje zobecnění Galileo klasického principu relativity, jenž se vztahuje výhradně na mechaniku. Protože nelze dokázat existenci něčeho jako je čistě mechanický děj, Einsteinovo vymezení principu relativity zohledňuje fakt, že nelze oddělit ani jeden fyzikální děj od jiných fyzikálních dějů. (Bednařík, 2011)

Z výše uvedeného plyne nekompatibilita rychlosti světla a Galileovy transformace a proto bylo zapotřebí nahradit tuto transformaci za jinou. (Bednařík, 2011) Díky postulátům relativity bylo možné odvodit Lorenzovy transformace, které byly před speciální teorií relativity kritizovány i samotným Lorenzem. Po Einsteinovi se Lorenzovými transformacemi zabýval také Hermann Mikowský. Ten v Lorenzových transformacích místo obyčejného (prostorového) třísloužkového vektoru zavedl čtyřvektor, nazývaný tenzor 1. řádu obsahující čtyři složky. Jako příklad můžeme uvést Minkowského elektromagnetickou čtyřsílu, v níž je obsažena Lorenzova síla: $\vec{F} = Q\vec{E} + Q(\vec{v} \times \vec{B})$. (Záškodný, 2006)

Pokud máme dvě inerciální soustavy S a S' a pomocí Lorenzových transformací provedeme výpočty, dostaneme následující výsledky:

$$\begin{aligned} x' &= \gamma(x - vt), & x &= \gamma(x' + vt) & [14] \\ y' &= y, & y &= y' \\ z' &= z, & z &= z' \\ t' &= \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right), & t &= \gamma\left(t' + \frac{vx'}{c^2}\right) \\ \gamma &= \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \end{aligned}$$

Z Lorenzových transformací vyplývá mnoho důležitých závěrů: dilatace času, kontrakce délek anebo pravidlo pro skládání rychlostí. (Mikš et al., 2013)

Dilatace času

Máme situaci, kdy v soustavě S' vzniknou dvě události v jednom stejném bodě. V tomto místě se bude nacházet pozorovatel s dokonale přesně měřícími hodinami H . První událost bude v bodě, která bude mít souřadnice x' v čase t' . Druhá událost bude mít souřadnice x_2' a čas t_2' . Pokud použijeme Lorentzovy transformace, získáme tento vztah:

$$t_2' - t_1' = (t_2 - t_1) \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad [15]$$

Z této rovnice je zjevné, že běh času získaný hodinami H' , pohybující se rychlostí v v soustavě S , je pomalejší v porovnání s během času získaným hodinami H , jež jsou v soustavě S v klidu. Zjednodušeně lze říci, že délka trvání děje bude nejkratší pro pozorovatele, který se vzhledem k objektu nepohybuje. (Bednařík, 2011)

Časová dilatace má negativní důsledek například pro astronauta, který cestuje v kosmické lodi velmi vysokou rychlostí vzhledem k Zemi. Astronaut stárne pomaleji než lidé na zemi a po návratu na Zem se může stát, že ostatní budou starší či dokonce zemřou, zatímco on zůstává mladý. (Weisstein, 2007)

Kontrakce délek

Představme si, že máme umístěnou tyč v soustavě S' ležící na ose x' , jež se vůči soustavě S' nepohybuje. Délka této tyče je vyjádřena vzorcem $\Delta x' = x_2' - x_1'$, přičemž x_2' a x_1' jsou koncové body tyče, které se v čase nemění. Vůči inerciální soustavě S je tyč v pohybu rychlostí v . Pokud chceme získat délku tyče Δx v soustavě S , je nutné určit konce tyče v jeden stejný časový okamžik, platí tedy $\Delta x = x_2(t) - x_1(t)$. Pokud použijeme Lorentzovy transformace, získáme tento tvar rovnice:

$$x_2' - x_1' = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma(x_2 - x_1) \quad [16]$$

Z předchozího vztahu nám vyplývá skutečnost, že délka tyče má maximální velikost v té souřadné soustavě, vůči níž se nepohybuje. Se všeobecnou platností můžeme říci, že velikost rozměrů těles se zkracuje ve směru vykonávaného pohybu a to tím více, čím vyšší je rychlost tělesa. (Mikš et al., 2013)

Skládání rychlostí

Máme částici, jež se pohybuje rychlostí vzhledem k soustavě S . Platí:

$$\mathbf{u} = \frac{dx}{dt} \mathbf{e}_x + \frac{dy}{dt} \mathbf{e}_y + \frac{dz}{dt} \mathbf{e}_z \quad [17]$$

Rychlost stejné částice vzhledem S' zapíšeme do tvaru:

$$\mathbf{u}' = \frac{dx'}{dt'} \mathbf{e}'_x + \frac{dy'}{dt'} \mathbf{e}'_y + \frac{dz'}{dt'} \mathbf{e}'_z \quad [18]$$

Symbole \mathbf{e}_i a \mathbf{e}'_i v rovnici reprezentují jednotkové vektory ve směru souřadnicových os. V souladu s Lorenzovými pravidly získáme tyto rovnice, kde v zastupuje

$$dt' = \gamma \left(dt + \frac{v}{c^2} dx \right)$$

$$dx' = \gamma (x - v dt)$$

$$dy' = dy$$

$$dz' = dz$$

Pomocí matematické úpravy dostaneme vzorce rychlosti v soustavě S' :

$$u'^x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{\gamma(dx - v dt)}{\gamma \left(dt - \frac{v}{c^2} dx \right)} dx = \frac{\frac{dx}{dt} - v}{1 - \frac{v}{c^2} \frac{dx}{dt}} = \frac{u^x - v}{1 - \frac{vu^x}{c^2}} \quad [19]$$

$$u'^y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{\gamma \left(dt - \frac{v}{c^2} dx \right)} dx = \gamma^{-1} \frac{\frac{dy}{dt}}{1 - \frac{v}{c^2} \frac{dx}{dt}} = \gamma^{-1} \frac{u^y}{1 - \frac{vu^x}{c^2}} = \frac{u^y \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{vu^x}{c^2}} \quad [20]$$

$$u'^z = \frac{dz'}{dt'} = \frac{dz}{\gamma \left(dt - \frac{v}{c^2} dx \right)} dx = \gamma^{-1} \frac{\frac{dz}{dt}}{1 - \frac{v}{c^2} \frac{dx}{dt}} = \gamma^{-1} \frac{u^z}{1 - \frac{vu^x}{c^2}} = \frac{u^z \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{vu^x}{c^2}} \quad [21]$$

(Rychtek, 2012)

Pro získání inverzní transformační vzorec postačí analogická úprava, pro ilustraci bude upraven jen jeden:

$$u^x = \frac{u'^x + v}{1 + \frac{vu'^x}{c^2}} \quad [22]$$

Zda jsou odvozené vzorce pravdivé, otestujeme na extrémně rychlé částici. Její rychlost $u = u_x$ by se blížila rychlosti světla c , přičemž by platilo $v \rightarrow c$. Predikci mám potvrdí i vzorec 22, kde u_x nebude vyšší než rychlost světla c . Rovnice 19, 20, 21 a k ním inverzní transformační rovnice jsou označovány Einsteinovy vzorce pro skládání rychlostí. Pokud by se stalo, že $v \ll c$ nebudou se uplatňovat Einsteinovy vzorce, ale přejdou v zákonitosti Galileovy transformace pro skládání „malých rychlostí“. (Janků et al, 1984)

1.4.3. *Obecná teorie relativity*

V předchozí podkapitole byl popsán speciální princip relativity, jenž byl velmi přínosný pro rozvoj moderní fyziky. Speciální teorie relativity změnila vnímání prostoru a času, výrazně opravila zákony mechaniky, vysvětlila některé fenomény elektromagnetismu (hlavně interpretovala magnetismus), dala impulz k přepsání rovnic elektrodynamiky. (Heřman et al., 2008)

Tato teorie má, ale podstatné trhliny, jelikož ji lze aplikovat pouze na inerciální soustavy, pohybující se navzájem přímočaře a rovnoměrně, bez jakéhokoliv otáčení, zrychlení a účinku gravitačních sil. Jeden z nedostatků je lehce řešitelný. Pokud chceme studovat fyzikální zákony v neinerciální soustavě, je to možné, ale musí dojít k formálnímu zobecnění v rámci speciální teorie relativity. Pokud je ale v soustavě přítomna gravitace, neexistují k ní žádné inerciální vztažné soustavy, a proto nelze globálně aplikovat speciální teorii relativity. (Ullmann, 1986)

Sám Einstein si uvědomoval, že je nutné vybudovat novou teorii, ve které bude zobecněn princip relativity i na neinerciální soustavy. Bylo nutné přepracovat Newtonovu teorii gravitace. Einstein se pro svou práci inspiroval Eötvösovým experimentem a Machovým principem. Je však nutné dodat, že cesta k formulaci obecné teorie relativity byla o hodně delší než k speciální teorii relativity. Einstein sepsal speciální teorii relativity za 5-6 týdnů, na obecné teorii pracoval dlouhých osm let. (Heřman et al., 2008)

Einsteinovu obecnou teorii relativity můžeme jednoduše matematicky zapsat do tvaru: „Všechny fyzikální zákony lze zaznamenat v invariantní (kovariatní) formě vůči transformacím prostoročasových souřadnic.“ (Ullmann, 1986)

Matematicky můžeme zaznamenat veškeré fyzikální zákony (mechanické i elektromagnetické) v kovalentní formě vzhledem ke všem transformacím mezi soustavami, jež jsou obecně neinerciální. V obecné teorii relativity se pro gravitační pole využívá prostoročas s křivým Reimannovým prostorem s tenzorem druhého řádu g_{ij} . Takto nově definovaný tenzor druhého řádu g_{ij} s kovariantními složkami transformovaný podle pravidel pro transformaci diferenciálů je již v neinerciální soustavě nekonstantní a závisí na prostoročasových souřadnicích. V diferenciální geometrii se takto obvykle definuje vzdálenost dvou bodů na diferencovatelné varietě (Zášková, 2009)

1.4.4. Relativistická dynamika částice

Tento druh mechaniky částice je založen na speciální teorii relativity a je neměnná vůči Lorenzovým transformacím. Obecně ji lze nazvat relativistická mechanika. Nicméně v případě, že je rychlost pohybující se částice (hmotného bodu, tělesa) mnohonásobně menší než rychlost světla ve vakuu, je pro ulehčení fyzikálních vztahů používána newtonovská klasická mechanika namísto místo relativistické mechaniky. (Mikš et al., 2013)

Závislost hmotnosti objektu (hmotný bod, těleso) na jeho rychlosti pohybu

Následující vzorec dokazuje platnost premisy, že hmotnost m objektu roste úměrně s jeho rychlostí pohybu u :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \gamma m_0 \quad [23]$$

V tomto vzorci m_0 zastupuje klidovou hmotnost objektu. Tedy hmotnost objektu, která se nachází v inerciální soustavě a nevykonává žádný pohyb. Relativistická hmotnost je v uvedeném vzorci reprezentována m . (Harris, 2016)

Přírůstek relativistické hmotnosti ($m - m_0$) je znatelný pouze při rychlostech, které se blíží rychlosti světla. Jako příklad lze uvést částici pohybující se rychlostí, která nabývá hodnot $0,1 c$ pak její hmotnostní přírůstek je asi jen $0,5 \%$. Pokud však máme část, jejíž rychlost je $0,9 c$, její hmotnostní přírůstek několikanásobně vyšší než u předešlé částice a to 100% . (Záškodný, 2005)

Pohybová rovnice relativistické fyziky

V newtonovské klasické mechanice je pohybová rovnice definována jako $\vec{F} = m\vec{a}$. Pro tuto rovnici budou platit Lorentzovy transformace souřadnic (rovnice č. 14) se všemi podmínkami. Po této úpravě Lorenzovými transformacemi lze pohybovou rovnici nerelativistické fyziky zapsat ve tvaru: (Záškodný, 2006)

$$F = m \frac{dv}{dt} \quad [24]$$

Pro tuto rovnici platí podmínky, že síla má směr x' a x a hmotný objekt, mající hmotnost m , vykonává pohyb rychlostí v ve směru o x' a x . Tvar této rovnice platí v jakékoli inerciální soustavě a Galileiovou transformací se nemění. (Záškodný, 2006)

V relativistické mechanice nemůžeme použít klasickou newtonovskou pohybovou rovnici. Je třeba použít upravený tvar podle Lorenzovy transformace. Pomocí úprav

provedených ve čtyřrozměrném vektoru Minkowského prostoročase dostaneme tvar: (Záškodný, 2005)

$$F = \frac{d(mv)}{dt} \quad [25]$$

Hybnost hmotného objektu

Všeobecný vzorec hybnosti $\vec{p} = m\vec{u}$ hmotného objektu lze pro potřeby relativistické mechaniky matematicky upravit do tohoto tvaru:

$$\vec{p} = \frac{m_0\vec{u}}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} = \gamma m_0\vec{u} \quad [26]$$

Jelikož v relativistické mechanice je prostor homogenní, platí zákon zachování relativistické hmotnosti: v uzavřené soustavě je hybnost v čase neměnná. Z tohoto zákona nám dále vyplývá zákon zachování relativistické hmotnosti: v uzavřené soustavě se celková hmotnost nemění, i když v ní probíhají různé procesy či děje. (Mikš, et al., 2013)

Primární zákon relativistické dynamiky: Síla, jež působí na hmotný objekt, je rovna časové změně jeho hybnosti. Po matematické úpravě dostaneme následující vztah: (Mikš, et al., 2013)

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0\vec{u}}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} \right) \quad [27]$$

Einsteinova rovnice pro energii

Rovnice pro Einsteinovu energii se zapisuje ve tvaru:

$$E = mc^2 \quad [28]$$

Z tohoto vztahu můžeme jednoduše vyčíst skutečnost, že energie objektu je úzce spjata s jeho hmotností. Platí tedy, že pokud se jakýmkoli způsobem navýší energie systému, dojde k navýšení jeho hmotnosti. (Harrison, 1999)

Tato rovnice patří mezi nejznámější vztahy relativistické fyziky, a proto jí právem náleží titul přelomový objev 20. století. Díky ní dokázali lidé porozumět, jak za pomoci mohou přetransformovat radioaktivní prvek na čistou energii. Výsledkem byla konstrukce bomba. Později pomoci Einsteinova rovnice pro energii dokázali vědci odhadnout průběh jaderné reakce. (McPhee, 2010)

Pokud chceme vypočítat elementární práci W_1 síly \vec{F} , díky jejíž působení se hmotný bod posune o malou vzdálenost $d\vec{r}$, musíme vycházet ze vztahu:

$$W_l = \vec{F} d\vec{r} \leftrightarrow dW_l = Fd = \frac{d(mv)}{dt} = vd(mv) = mv dv + v^2 dm \quad [29]$$

Pro výpočet vztahu vdv , použijeme vztah pro relativistickou hmotnost (rovnice č. 13), který po umocnění nabude tvar $m^2(c^2 - v^2) = m_0^2 c^2$ a pokud tento tvar dosadíme do vzorce pro elementární práci (rovnice č. 19) matematickými úpravami dostaneme: (Bednařík, 2011)

$$mv dv + v^2 dm = c^2 dm \quad [30]$$

Tímto vzorcem jsme vypočítali nejen elementární práci, ale také přírůstek kinetické energie. Pokud chceme získat celkovou kinetickou energii, musíme předchozí vzorec zintegrovat: (Bednařík, 2011)

$$E_k = c^2 \int dm = mc^2 + konst. \quad [31]$$

Abychom mohli dostat konečný výsledek této rovnice, musíme brát na zřetel, že kinetická energie musí být rovna nule, pokud rychlost je nulová, tedy hmotný objekt je v klidu. V tomto případě nám konstanta nabývá hodnot $-m_0 c^2$ a po dosazení do předchozí rovnice dostaneme tvar:

$$E_k = mc^2 - m_0 c^2 = c^2(m - m_0) \quad [32]$$

Kinetická energie hmotného objektu je také rovna celkové práci. (Bednařík, 2011)

Pokud má klidová energie hmotného objektu tvar $E_0 = m_0 c^2$ a následně ji sečteme s kinetickou energií objektu (rovnice č. 22) dostaneme vztah pro celkovou energii. Tímto krokem jsme odvodili Einsteinův vztah pro energii: (Bednařík, 2011)

$$E_k + E_0 = mc^2 - m_0 c^2 + m_0 c^2 = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = E \quad [33]$$

Předchozí rovnice pro celkovou energii hmotného objektu a klidovou energii hmotného objektu platí nejen pro elementární částice, ale také pro těleso složené z libovolného množství částic. (Bednařík, 2011)

Další vztah pro energii dostaneme, pokud vezmeme tyto dvě rovnice

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad [34]$$

a z těchto dvou vztahů vyloučíme rychlost v dostaneme upravený vztah pro energii:

$$E = c\sqrt{p^2 + m_0 c^2} \quad [35]$$

(Bednařík, 2011)

2. Hypotézy a cíle práce

Hypotézy práce:

- 1) Komparací struktury příčin MU a struktury kvantové a relativistické fyziky lze vymezit formalismy kvantové a relativistické fyziky potřebné pro zkoumání příčin mimořádných událostí.
- 2) Informovanost odborné veřejnosti lze zvýšit aplikací teorie kurikulárního procesu.

Cíle práce:

- 1) Vytvoření strukturu příčin MU
- 2) Vytvoření struktury kvantové a relativistické fyziky na úrovni staré kvantové teorie a s dominancí speciální teorie relativity
- 3) Provedení komparativní analýzy předcházejících struktur s cílem vystihnout fyzikální podstatu příčin mimořádných událostí z hlediska kvantové a relativistické dimenze fyziky
- 4) Sestavení testu umožňujícího na bázi teorie kurikulárního procesu zjistit míru informovanosti odborné veřejnosti o kvantových a relativistických aspektech MU
- 5) Aplikace testu na vhodném vzorku respondentů a statistické vyhodnocení dosažených výsledků

2.1. Metodika výzkumu

Metodiku zpracování diplomové práce lze rozčlenit do následujících bodů:

- I. Vytvoření struktury příčin mimořádných událostí
- II. Vytvoření struktury kvantové a relativistické fyziky
- III. Komparace obou struktur
- IV. Aplikace potřebných etap teorie kurikulárního procesu
- V. Přizpůsobení výsledku komparace vymezených struktur potřebám a možnostem odborné veřejnosti
- VI. Vytvoření edukačního textu
- VII. Verifikace edukačního textu metodami deskriptivní a matematické statistiky

Pokud se na tyto body zaměříme, zjistíme, že jednotlivé kroky zrcadlí algoritmus kurikulárního procesu.

Ad. I., II., V., Konceptuální, zamýšlené a projektové kurikulum

V současné době nebyl zpracován edukační materiál popisující dané téma tak, aby byl svým obsah a náročností přizpůsoben studentům magisterského oboru Civilní nouzová připravenost. To bylo dosaženo za pomoci aplikace teorie kurikulárního procesu. Nejprve bylo zapotřebí dané téma analyzovat z odborných pramenů, transformovat na sdělitelnou formu vědeckého systému (konceptuální kurikulum), přizpůsobeno možnostem a znalostem adresáta (zamýšlené kurikulum) a následně byl zpracován edukační text (projektové kurikulum) s přihlédnutím na potřeby studentů.

Ad. VI. Implementované kurikulum-1

Výše zmiňovaný edukační text vypracovaný v rámci projektového kurikula obsahuje základní vztahy kvantové a relativistické fyziky. Tento text byl napsán pro potřeby studentů Civilní nouzové připravenosti a byl jim přizpůsoben i jeho obsah. Na podkladě edukačního textu byl vytvořen edukační test za účelem zjištění míry vědomostí studentů. Test je ve formě otázek s výběrem z několika odpovědí (tzv. multiple choice test) a obsahuje 14 otázek. Test byl studentům poslán elektronicky.

Ad. VI. Implementované kurikulum-2

V rámci implementovaného kurikula-2 byly verifikovány výsledky edukačního testu pomocí statistických metod. Nejprve byly spočítány všechny dosažené body. Každá testová otázka měla pouze jednu správnou odpověď. Za každou správnou otázku získal student jeden bod. Špatně zodpovězená nebo nezodpovězená otázka byla ohodnocena 0 body. Následně byly výsledky testu zpracovány za pomoci metod deskriptivní a matematické statistiky.

2.2. *Metody deskriptivní statistiky*

Formulace statistického šetření

Abychom mohli formulovat statistické šetření, musíme stanovit tyto základní pojmy:

- HNJ hromadný náhodný jev
- SJ statistická jednotka
- SZ statistický znak
- HSZ hodnoty statistického znaku
- ZSS základní statistický soubor a jeho rozsah
- NV náhodný výběr
- VSS výběrový statistický soubor a jeho rozsah

Hromadný náhodný jev – pomocí tohoto aparátu, lze zkoumat společný rys či vlastnost veškerých statistických jednotek, statistického souboru (základního i výběrový), jenž není možno předem předvídat. Jeden rys či vlastnost můžeme pozorovat u více prvků anebo zkoumané prvky mohou mít odlišné rysy či vlastnosti. Hromadným náhodným jevem může například být diagnostikovaná rakovina prsu ve vzorku vybraných žen, zkoumání míry vědomostí u respondentů ve formě testu (je aplikováno v této práci), zkoumání příčin automobilových nehod aj.

Statistická jednotka – jedná se o určitý prvek statistického souboru. Tento prvek má stejnou vlastnost jako ostatní prvky statistického souboru. Statistickou jednotkou je například 1 pacientka, které byla diagnostikována rakovina prsu, automobilová nehoda zapříčiněná nedbalostí řidiče, student účastnící se dotazníkového šetření aj.

Statistický znak – lze ho definovat jako vlastnost statistické jednotky, jež od sebe odlišuje jednotlivé statistické jednotky. Jako příklad můžeme uvést přesnou lokalizaci rakoviny prsu.

Hodnoty statistického souboru – jedná se o styl, jakým popíšeme statistickou jednotku (např. můžeme použít škálu od 0% do 100%). V této diplomové práci bude použito bodové hodnocení otázek.

Základní statistický soubor – je soubor všech celkových statistických jednotek.

Náhodný výběr – tento proces používáme, pokud máme příliš velký statistický soubor a pokud sledujeme pouze některé prvky. Je prováděn pomocí různých metod jako například losování, generátorem náhodných čísel atd.

Výběrový statistický soubor a jeho rozsah – jedná se o vzorek statistických jednotek vybraný pomocí náhodného výběru ze základního souboru. Mělo by se jednat o typický vzorek ze základního souboru. Výběrový statistický soubor můžeme rozdělit na jednorozměrný (je zkoumán pouze jeden statistický znak), anebo vícerozměrný (zkoumali se více statistických znaků).

Škálování

Pro ulehčení zpracování statistického šetření rozdělujeme hodnoty statistického znaku do určitých skupin, které nazýváme škály. Máme 4 druhy škálování:

Nominální škála – rozdělení prvků do kategorií, přičemž kategorie jsou vytvořené v souladu s prvky (např. pohlaví- muž, žena)

Ordinální škála – pomocí této škály můžeme prvky rozdělit do kategorií podle kterých lze určit totožnost i pořadí. Pomocí této škály však není možné vzdálenost mezi dvěma sousedními prvky škály.

Kvantitativně metrická škála – pomocí této škály můžeme již určit vzdálenost mezi sousedními prvky škály.

Absolutní metrická škála – jedná se o kvantitativně metrickou škálu, jejíž hodnota prvku začíná nulou.

Měření

Měření je metoda deskriptivní statistiky, pomocí níž každé statistické jednotce výběrového statistického souboru (obsahující n statistických jednotek) jsou přiřknuty prvky škály (x_i). Výsledkem je získání absolutní četnosti prvku (n_i) – tedy kolikrát byl prvek naměřen. Po sečtení všech absolutních četností prvků musíme získat hodnotu výběrového statistického souboru.

Pomocí pravděpodobnosti lze získat i jiné informace o statistickém souboru. Použitím vztahu n_i/n získáme relativní četnost, která vyjadřuje četnost naměřeného prvku x_i . Naopak díky kumulativní četnosti $\sum n_i/n$, můžeme stanovit pravděpodobnost, že byl naměřen výsledek menší nebo roven prvku x_i .

Elementární statistické šetření

Statistické šetření se zpracovává do tabulky, do které se zapíše výsledky měření a následně se vypočítají empirické parametry a graficky se zpracují. Díky těmto krokům znázorníme empirický obraz výběrového statistického souboru.

Tabulka se skládá z 8 sloupců. První čtyři sloupce slouží pro přehlednější orientaci ve výsledcích, ale také pro zobrazení empirických rozdělení. Pátý až osmý sloupec jsou spíše pomocného charakteru a jejich účelem je usnadnění výpočtu empirických parametrů:

1. sloupec x_i – prvky škály
2. sloupec n_i – absolutní četnosti škály
3. sloupec n_i/n – relativní četnosti škály
4. sloupec $\sum n_i/n$ – kumulativní četnosti prvků škála
5. sloupec $x_i n_i$
6. sloupec $x_i n_i^2$
7. sloupec $x_i n_i^3$
8. sloupec $x_i n_i^4$

Jednotlivé četnosti graficky znázorněny jsou, přičemž lze říci, že jednoduše vykreslují rozdělení náležitých četností. Body jsou vyneseny do dvourozměrného pravoúhlého souřadnicového systému, na jehož vodorovné ose x jsou prvky škály a na vertikální ose y jsou znázorněny jednotlivé hodnoty absolutních četností. Křivka, která vznikne propojením jednotlivých bodů souřadnicového systému, je označována jako „polygon“. Polygony jsou dále označovány podle druhu četnosti – polygon absolutní četnosti, polygon relativní četnosti a polygon kumulativní četnosti.

Elementární statistické šetření má za cíl výpočet empirických parametrů. Empirické parametry (pokud je ve statistickém šetření použit výběrový soubor jsou nazývány výběrové parametry) informují o povaze výběrového statistického souboru:

- **Parametr polohy** (vážený aritmetický průměr) – určuje „referenční“ hodnotu dat.

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

- **Parametr variability** – centrální moment 2. řádu, empirický rozptyl

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

Odmocněním parametru variability dostaneme směrodatnou odchylku, díky níž zjistíme výpovědní hodnotu váženého průměru

$$S_x = \sqrt{C_2}$$

Variační koeficient – jedná se o podíl směrodatné odchylky k aritmetickému průměru.

$$V_{koef.} = \frac{S_x}{\bar{x}}$$

- **Parametr šikmosti** – podává nám informace o rozložení prvků napravo nebo nalevo od aritmetického průměru. Pokud je výsledek:
 - >0 sešikmení doleva (nižší prvky škály mají větší četnost)
 - <0 sešikmení doprava (vyšší prvky škály mají větší četnost)

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

- **Parametr špičatosti** – normovaný moment 4. řádu, udává míru špičatosti rozložení prvků škály

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

2.3. *Metody matematické statistiky*

Neparametrické testování hypotéz

Podstatou tohoto testování je nahrazení empirického rozdělení zamýšleným teoretickým rozdělením. Odtud již vyplývá možnost srovnávat teoretické a empirické parametry. K tomuto testování používáme nulové hypotézy H_0 a alternativní hypotézy H_a .

Nulová hypotéza H_0 umožňuje přijetí teoretického rozdělení, naopak alternativní hypotéza H_a nepředpokládá možnost, že lze zaměnit empirické rozdělení za teoretické rozdělení.

Ke stanovení hypotézy se používají různá testová kritéria, jako například u-test, Studentovo rozdělení (t-test), Pearsonovo χ^2 rozdělení (χ^2 -test dobré shody), Fisherovo-Snedecerovo rozdělení (F-test). V této práci bude použito testování pomocí Pearsonova χ^2 -testu. Základem tohoto testu je srovnání relativních četností n_i/n s náležitými plochy

pod Poissonovou křivkou. Je zde stanoveno důležité kritérium - absolutní četnost intervalu by měla být rovna nebo větší než 5. Pokud není tato podmínka splněna, musí dojít ke spojení se sousedním intervalem tak, aby výsledná hodnota byla 5.

Testování probíhá podle následujících bodů

1. Vypočet experimentální hodnoty χ_{exp}^2
2. Stanovení teoretické hodnoty χ_{teor}^2
3. Určení kritického intervalu W pro příslušnou hladinu statistické významnosti α . Toto kritériu je možno stanovit prostřednictvím teoretické hodnoty.
4. Potvrzení či zamítnutí platnosti alternativní hypotézy H_a či nulové hypotézy H_0 .

Experimentální hodnota je vyjádřena tímto vztahem:

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

kde n_i je absolutní četnost prvků statistického šetření, n velikost statistického (výběrového) souboru a p_i pravděpodobnost vyhledávané plochy pod Poissonovou křivkou (teoretická relativní četnost). Člen rovnice np_i je označován jako teoretická absolutní četnost.

Teoretickou relativní četnost p_i určíme pomocí:

$$p_i = e^{-\lambda} \frac{\lambda^i}{i!}, i = 0, 1, \dots, \infty,$$

kde je λ je teoretický parametr. Pro který platí:

$$O_1 = \bar{x} = \lambda \wedge C_2 = \sigma^2 = \lambda \wedge C_3 = \lambda \wedge C_4 = 3\lambda^2 + \lambda$$

Distribuční funkce je vyjádřena:

$$F_i = \sum_{j=0}^i p_j, i \leq \infty$$

Dále je za potřebí určit teoretickou hodnotu χ_{teor}^2 . Tato hodnota se stanovuje za pomoci tabulek, nicméně nejprve je zapotřebí určit počet stupňů volnosti:

$$\chi_{teor}^2 = \chi_v^2 = \chi_{k-r-1}$$

kde k je počet intervalů a r je počet stupňů volnosti, přičemž tohoto testového kritéria je rovno 1.

Nyní je možné vytvořit interval kritického bodu W , který má následující tvar:

$$W \in \langle \chi_{k-r-1}(\alpha), +\infty \rangle$$

Poslední částí je potvrzení či vyvrácení nulové hypotézy H_0 anebo alternativní hypotézy H_a . To provedeme pomocí srovnání experimentální hodnoty χ_{exp}^2 a kritického oboru W :

$\chi_{exp}^2 \notin W \rightarrow$ můžeme přijmout H_0 , naopak H_a je neplatná

$\chi_{exp}^2 \in W \rightarrow$ můžeme přijmout H_a , naopak H_0 je neplatná

Teorie odhadu (v práci nebude aplikována)

Parametrické testování používá aparát nulové a alternativní hypotézy (H_0 a H_a) a vychází např. z předpokladu, že empirickému rozdělení je možné přiřadit normální rozdělení. Jsou aplikovány testy (F-test, t-test, u-test a χ^2 -test) a dále je možno použít jednovýběrové nebo dvouvýběrové testování.

Parametrické testování (v práci nebude aplikováno)

Parametrické testování používá aparát nulové a alternativní hypotézy (H_0 a H_a) a vychází z předpokladu, že empirickému rozdělení je možné přiřadit normálové rozdělení. Jsou aplikovány testy (f-test, t-test, u-test a χ^2 -test) a dále je možno rozdělení pomocí jednovýběrového a dvouvýběrového testování.

Měření statických závislostí (v práci nebude aplikováno)

Parametrické testování používá aparát nulové a alternativní hypotézy (H_0 a H_a) a vychází např. z předpokladu, že empirickému rozdělení je možné přiřadit normální rozdělení. Jsou aplikovány testy (F-test, t-test, u-test a χ^2 -test) a dále je možno použít jednovýběrové nebo dvouvýběrové testování.

Zkoumání statistických závislostí

Další metodou matematické statistiky je varianta, kdy můžeme zkoumat více statistických znaků statistické jednotky. Tato metoda je aplikována na vícerozměrný výběrový statistický soubor a hledáme možnou závislost mezi dvěma nebo více statistickými znaky vybraných statistických jednotek. U této metody používáme regresní a korelační analýza.

Charakteristika zkoumaného statistického souboru

Pro účely statistického šetření byli osloveni studenti Civilní nouzové připravenosti dvou českých veřejných vysokých škol:

- Zdravotně-sociální fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích
- Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technické v Praze

Edukační text i edukační test byly zaslány na kompetentní studijní oddělení s prosbou o přeposlání jednotlivým studentům prezenční i kombinované formy studia. Na výzvu odpověděly obě vysoké školy.

Celkem edukační test vyplnilo 46 studentů. Z celkového počtu bylo 17 studentů prvního ročníku a 29 studentů druhého ročníku. Většina respondentů (31) byli studenti kombinované formy a 15 respondentů byli studenti z prezenční formy.

3. Výsledky práce

Konceptuální kurikulum

Mimořádné události jsou v zákoně 239/2000 Sb. popsány jako nestandardní situace způsobené škodlivým účinkem sil a jevů. Tyto síly a jevy jsou výsledkem působení člověka, přírodních vlivů a havárií. Ohrožují nejen zdraví, života, životní prostředí, ale i majetek. Mimořádné události se rozdělují na přírodní, antropogenní a smíšené. Přírodní vznikají vlivem negativních přírodních jevů, sil či nákaz. Antropogenní jsou zapříčiněny nejruznější činností lidstva. U smíšených událostí dochází k situaci, kdy primární mimořádná událost zapříčiní vznik jiné sekundární události. Většinou tyto události probíhají souběžně.

Kvantová a relativistická fyzika zkoumá fyzikální jevy podle stejného algoritmu:

- fenomén – kvantová fyzika zkoumá objekty mikrosvěta, naopak relativistická fyzika velkou rychlostí pohybující se relativistické objekty či relativistické objekty s extrémní hustotou hmotnosti
- pokus (k opatření informací o relativistickém předmětu je potřeba použít přístroj)
- matematický model (jedná se o abstraktní model využívající matematické výsledky k popsání soustavy)
- pojem (pojem vznikl bez přímého styku se zkoumaným fenoménem)
- představa (představa založená na zkušenostech ze starších případů)
- aplikace

Kvantová fyzika se zabývá zkoumáním fyzikálních jevů mikrosvěta. V mikrosvětě nejsou úplně rozeznatelné korpuskulární a vlnové vlastnosti částic, mluví se spíše o vlnově-korpuskulárním dualismu. Jednoduše lze říci, že objekt mikrosvěta má korpuskulární i vlnové vlastnosti. Základní kámen vlnově-korpuskulárnímu dualismu položil Louis de Broglie svojí hypotézou. Odkud také plyne vztah pro vlnovou délku pohybujícího se tělesa:

$$\lambda_{BDV} = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

Vlnově korpuskulární dualismus je možno vysvětlit na fotonu. Vlnovou funkcí fotonu představuje celková energie $\hbar\omega_0$ a spektrální funkce $f(k)$. Stav částice látky je interpretován vlnovou funkcí Ψ . Vynásobením vlnové funkce Ψ komplexním sdružením Ψ^* získává údaj o pravděpodobnostní hustotě lokalizace látkové částice. Obdobně lze získat hustotu pravděpodobnosti vlnového čísla k fotonu, který je vyjádřen součinem

spektrální funkce $f(k)$ s jejím komplexním sdružením $f(k)^*$. Z tohoto plyne důležitý závěr: vlnová stránka fotonu je reprezentována pravděpodobností vlnového čísla, naopak u částice látky je její vlnová stránka představována pravděpodobností výskytu.

Korpuskulární vlastnosti fotonu popisují veličiny hmotnost a hybnost. Pokud má foton klidovou hmotnost můžeme hmotnost a hybnost zapsat:

$$m = \frac{\hbar\omega}{c^2}, p = \frac{\hbar\omega}{c}$$

Než se začala formovat relativistická fyzika, byl používán klasický princip relativity – Newtonovy zákony a Galileovy transformace prostoročasových souřadnic. Pro klasickou mechaniku byly tyto vztahy zcela dostačující. Nicméně nedostatky a chyby se projeví při velkých rychlostech, jejichž velikost je rovna nebo skoro stejná jako rychlost světla (300 000 km/s). V těchto případech musela být vytvořena nová teorie: Einsteinova speciální teorie relativity. Speciální teorie relativity zkoumá vlastnosti a vztahy prostoru a času pohybujících se ve vztažné soustavě.

Speciální princip relativity byl postaven na těchto postulátech:

1. *Speciální princip relativity: Fyzikální zákony mají stejný tvar ve všech inerciálních soustavách souřadnic.*
2. *Princip stálé rychlosti světla: Rychlost světla ve vakuu má stejnou velikost ve všech inerciálních soustavách.*

Speciální teorie relativity používá Lorenzovy transformace, ze kterých vyplývá mnoho důležitých závěrů: dilatace času, kontrakce délek a také pravidlo pro skládání rychlostí.

Dilatace času je dána vzorcem:

$$t'_2 - t'_1 = (t_2 - t_1) \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Kontrakce délek lze zapsat do tohoto tvaru:

$$x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma(x_2 - x_1)$$

Skládání rychlostí je vyjádřeno tímto vzorcem (následující vzorec je pro x-ovou složku rychlosti u , pro y-ovou a z-ovou složku rychlosti u bude platit stejný vzorec, pouze budou vyměněny indexy určující složku rychlosti u):

$$u^x = \frac{u'^x + v}{1 + \frac{vu'^x}{c^2}}$$

Zamýšlené kurikulum

Zamýšlené kurikulum je aparát kurikulárního procesu, který vzniká transformací konceptuálního kurikula. Podstata zamýšleného kurikula spočívá v přizpůsobení obsahu kurikulárního procesu pro cílové osoby kurikulárního procesu, a to tak, aby bylo dostatečné a zcela pochopitelné.

Studenti Civilní nouzové připravenosti mají ve svém sylabu pouze předmět Vybrané kapitoly z chemie a jaderné fyziky. Z oblasti fyziky jsou probírána pouze témata jaderné fyziky. Proto autorka vybrala jen ty nejdůležitější základní fyzikální zákony a text bude vytvořen převážně na úrovni učiva středoškolské fyziky.

Projektové kurikulum

Transformací zamýšleného kurikula vznikne projektové kurikulum. V této diplomové práci byl v rámci projektového kurikula vytvořen edukační text obsahující základní fyzikální vztahy kvantové fyziky (pouze stará kvantová teorie) a relativistické fyziky.

Implementované kurikulum-1

Implementované kurikulum-1 je spojeno s tvorbou edukačního testu, jenž byl vytvořen na základě edukačního textu. Tento test byl formou otázek s výběrem z několika odpovědí (tzv. multiple-choice test). Každá otázka měla čtyři možnosti odpovědí (bez volné odpovědi) a pouze jedna možnost byla správná. Testové otázky byly vypracovány pouze na základě textu, který obsahoval vybrané informace o mimořádných událostech, kvantové a relativistické fyzice. Každá správně zodpovězená otázka byla hodnocena 1 bodem a za nezodpovězenou nebo špatně zodpovězenou otázku nebyl bod ani přičten, ani odečten.

Implementované kurikulum-2

Poslední krokem kurikulárního procesu je Implementované kurikulum-2. V rámci tohoto kroku bylo zpracováno statistické šetření výsledků edukačního testu. Výsledky byly podrobeny metodám deskriptivní a matematické statistiky.

Formulace statistického šetření

- HNJ měření znalostí studentů Civilní nouzová připravenost
- SJ student
- SZ míra znalostí studentů
- HSZ míra znalostí studentů **(0- 14 bodů)**
- ZSS 46 studentů
- NV nebyl proveden
- VSS = ZSS = 46 studentů

Měření a škálování

Bylo provedeno 46 měření.

Použitím Sturgesova pravidla jsem vytvořila sedmi prvkovou škálu.

Sturgesovo pravidlo: $k = 1 + 3,3 \log n$
 $k = 1 + 3,3 \log 46$
 $k = 1 + 5,66$
 $k = 6,66$

k počet prvků škály

n počet statistických jednotek

Škálování:

1.	škála (0 - 2 bodů)	2	studentů
2.	škála (3 - 4 bodů)	6	studentů
3.	škála (5 - 6 bodů)	9	studentů
4.	škála (7 - 8 bodů)	17	studentů
5.	škála (9 – 10 bodů)	8	studentů
6.	škála (11 – 12 bodů)	3	studentů
7.	škála (13 – 14 bodů)	1	studentů
	Celkem	46	studentů

→ vytvořila jsem kvantitavně metrickou škálou, v níž rozpětí bodů je stejné

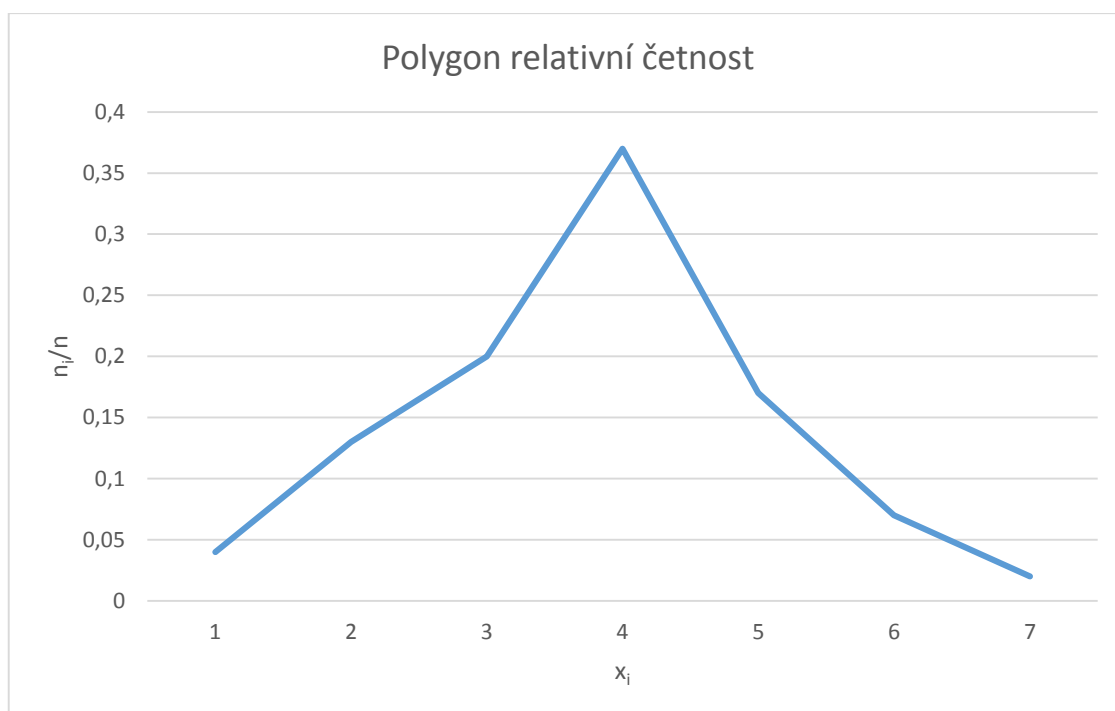
Elementární statistické šetření

Tabulka č. 2: Tabulka elementárního statistického zpracování

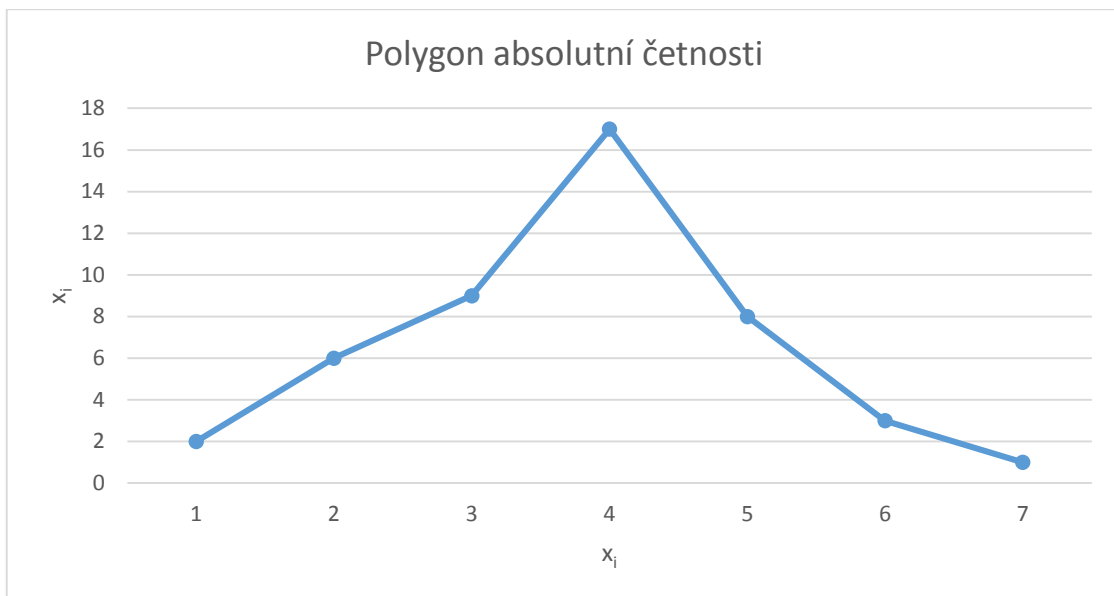
x_i	$x_i (a;b)$	stř. int.	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$n_i x_i^1$	$n_i x_i^2$	$n_i x_i^3$	$n_i x_i^4$
1.	$(-\infty; 2)$	1,5	2	0,04	0,04	3	4,5	6,75	10,125
2.	$(3; 4)$	3,5	6	0,13	0,17	21	73,5	257,25	900,375
3.	$(5, 6)$	5,5	9	0,20	0,37	49,5	272,25	1497,375	8235,563
4.	$(7; 8)$	7,5	17	0,37	0,74	127,5	956,25	7171,875	53789,06
5.	$(9; 10)$	9,5	8	0,17	0,91	76	722	6859	65160,5
6.	$(11; 12)$	11,5	3	0,07	0,98	34,5	396,75	4562,625	52470,19
7.	$(13; +\infty)$	13,5	1	0,02	1	13,5	182,25	2460,375	33215,06

Grafické zpracování rozdělení empirických četností

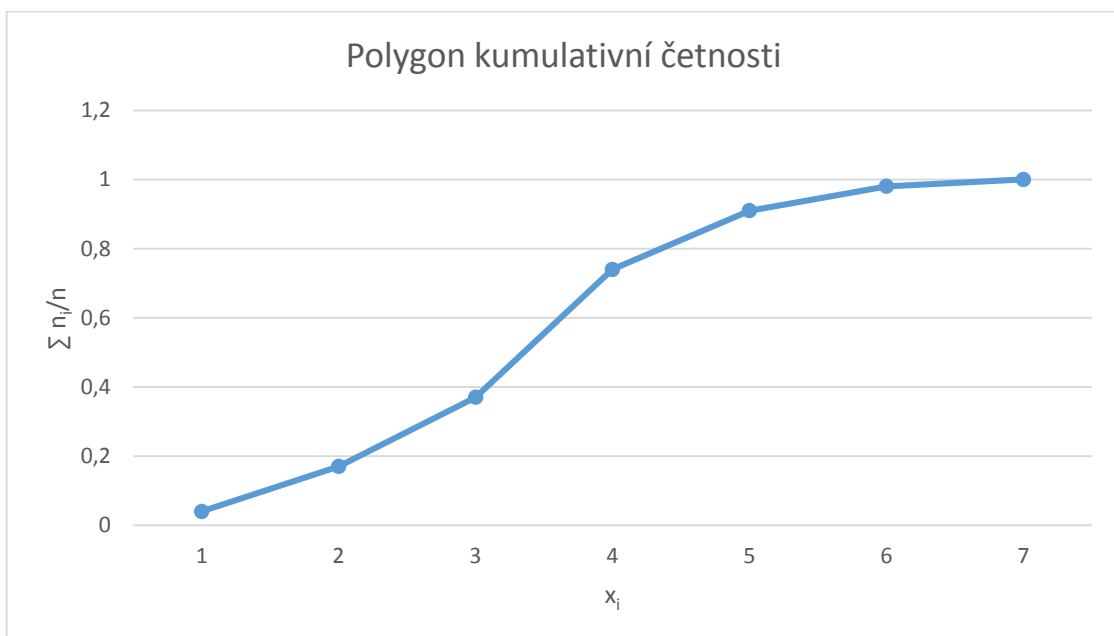
Obrázek č. 3 Polygon relativní četnosti



Obrázek č. 4 Polygon absolutní četnosti



Obrázek č. 5 Polygon kumulativní četnosti



Empirické parametry

Parametr polohy – obecný moment prvního řádu = aritmetický průměr

$$O_1(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i$$
$$O_1(x) = \frac{1}{46} * 325$$
$$O_1(x) = 7,07$$

Parametr variability

$$C_2 = O_2 - O_1^2$$
$$C_2 = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^2 - O_1^2$$
$$C_2 = \frac{1}{46} * 2607,5 - 7,07^2$$
$$C_2 = 6,7$$

Směrodatná odchylka

$$S = \sqrt{C_2}$$
$$S = \sqrt{6,7}$$
$$S = 2,59$$

Variační koeficient

$$V_{koef.} = \frac{S_x}{\bar{x}}$$
$$V_{koef.} = \frac{2,59}{7,07}$$
$$V_{koef.} = 0,37$$

Parametr šikmosti – normovaný moment 3. řádu

$$N_3 = \frac{C_3}{C_2 \sqrt{C_2}}$$
$$N_3 = \frac{O_3 - 3O_2 O_1 + 2O_1^3}{C_2 \sqrt{C_2}}$$
$$N_3 = \frac{\frac{1}{n} \sum n_i x_i^3 - 3O_2 O_1 + 2O_1^3}{C_2 \sqrt{C_2}}$$
$$N_3 = \frac{\frac{1}{46} 22815,25 - 3 * 56,68 * 7,07 + 2 * 7,07^3}{7,07 * \sqrt{7,07}}$$
$$N_3 = 0,22$$

Parametr špičatosti - normovaný moment 4. řádu

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

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

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

$$N_4 = \frac{\frac{1}{46} 213780,9 - 4 \times 496 \times 7,07 + 6 \times 56,68 \times 7,07^2 - 3 \times 7,07^4}{6,7^2}$$

$$N_4 = 2,76$$

Excess: $N_4 - 3 = 2,76 - 3 = -0,24$

Neparametrické testování – Pearsonův χ^2 test

Tabulka č. 4: Tabulka elementárního statistického zpracování

x_i	$x_i (a;b)$	stř. int.	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$n_i x_i^1$	$n_i x_i^2$	$n_i x_i^3$	$n_i x_i^4$
1.	$(-\infty; 2)$	1,5	2	0,04	0,04	3	4,5	6,75	10,125
2.	$(3; 4)$	3,5	6	0,13	0,17	21	73,5	257,25	900,375
3.	$(5; 6)$	5,5	9	0,20	0,37	49,5	272,25	1497,375	8235,563
4.	$(7; 8)$	7,5	17	0,37	0,74	127,5	956,25	7171,875	53789,06
5.	$(9; 10)$	9,5	8	0,17	0,91	76	722	6859	65160,5
6.	$(11; 12)$	11,5	3	0,07	0,98	34,5	396,75	4562,625	52470,19
7.	$(13; +\infty)$	13,5	1	0,02	1	13,5	182,25	2460,375	33215,06

z předchozí tabulky vyjmeleme nepotřebné údaje a dostaneme následující:

Tabulka č. 5: Důležité hodnoty pro neparametrické testování

x_i	$x_i (a;b)$	x_i střed. hodnota	n_i
1.	$(-\infty; 2)$	1,5	2
2.	$(3; 4)$	3,5	6
3.	$(5; 6)$	5,5	9
4.	$(7; 8)$	7,5	17
5.	$(9; 10)$	9,5	8
6.	$(11; 12)$	11,5	3
7.	$(13; +\infty)$	13,5	1

Vytyčení nulové a alternativní hypotézy H_0 a H_a :

H_0 : Empirické rozdělení četností je možné nahradit Gaussovým normálním rozdělením.

H_a : Empirické rozdělení četností není možné nahradit Gaussovým normálním rozdělením.

Aplikace χ^2 testu

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

Jako první bylo určeno u_i , pomocí následujícího vzorce:

$$u_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad x_i - \text{horní mez intervalu} \quad \mu = \bar{x} = O_1 = 7,07 \quad \sigma = S_x = 2,59$$

$$u_1 = \frac{2-7,07}{2,59}$$

$$u_2 = \frac{4-7,07}{2,59}$$

$$u_3 = \frac{6-7,07}{2,59}$$

$$u_1 = -1,958$$

$$u_2 = -1,185$$

$$u_3 = -0,413$$

$$u_4 = \frac{8-7,07}{2,59}$$

$$u_5 = \frac{10-7,07}{2,59}$$

$$u_6 = \frac{12-7,07}{2,59}$$

$$u_4 = 0,359$$

$$u_5 = 1,131$$

$$u_6 = 1,903$$

$$u_7 = \frac{+\infty - 7,07}{2,59}$$

$$u_7 = +\infty$$

Jako další krok je určit hodnotu Φu_i a to pomocí statistických tabulek. V těchto tabulkách jsou uvedeny jen hodnoty pro kladné u_i . Pokud jsme dostali hodnotu zápornou, vyhledáme odpovídající hodnotu pro kladné u_i a odečteme od čísla 1.

$$\Phi u_1 = 1 - \left(0,97411 + \frac{0,97500 - 0,97411}{10} * 8\right) \quad \Phi u_2 = 1 - \left(0,88100 + \frac{0,88298 - 0,88100}{10} * 5\right)$$

$$\Phi u_1 = 0,025$$

$$\Phi u_2 = 0,118$$

$$\Phi u_3 = 1 - \left(0,65910 + \frac{0,66267 - 0,65910}{10} * 3\right) \quad \Phi u_4 = 0,63683 + \frac{0,64058 - 0,63683}{10} * 9$$

$$\Phi u_3 = 0,340$$

$$\Phi u_4 = 0,640$$

$$\phi u_5 = 0,87076 + \frac{0,87286 - 0,87076}{10} * 1$$

$$\phi u_5 = 0,870$$

$$\phi u_6 = 0,97128 + \frac{0,97193 - 0,97128}{10} * 3$$

$$\phi u_6 = 0,971$$

$$\phi u_7 = 1$$

Pomocí těchto hodnot se vypočítá pravděpodobnostní funkce $p_i = \phi u_i - \phi u_{i-1}$

$$p_1 = \phi u_1$$

$$p_1 = 0,025$$

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

$$p_2 = 0,11801 - 0,025178$$

$$p_2 = 0,093$$

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

$$p_3 = 0,339829 - 0,11801$$

$$p_3 = 0,222$$

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

$$p_4 = 0,640205 - 0,339829$$

$$p_4 = 0,300$$

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

$$p_5 = 0,87097 - 0,640205$$

$$p_5 = 0,231$$

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

$$p_6 = 0,971475 - 0,87097$$

$$p_6 = 0,101$$

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

$$p_7 = 1 - 0,971$$

$$p_7 = 0,029$$

Následně vypočítáme teoretické absolutní rozdělení četností $np_i = 48 * p_i$

$$np_1 = 46 * 0,025 = 1,15$$

$$np_2 = 46 * 0,093 = 4,278$$

$$np_3 = 46 * 0,222 = 10,212$$

$$np_4 = 46 * 0,3 = 13,8$$

$$np_5 = 46 * 0,231 = 10,626$$

$$np_6 = 46 * 0,101 = 4,646$$

$$np_7 = 46 * 0,029 = 1,334$$

Pro přehlednost jsou všechny údaje uspořádány do následující tabulky

Tabulka č. 6: Souhrn výpočtů Pearsonův χ^2 test

x_i	$x_i (a;b)$	x_i střed. hodnota	n_i	u_i	ϕu_i	p_i	np_i
1	$(-\infty; 2)$	1,5	2	-1,958	0,025	0,025	1,15
2	$(3; 4)$	3,5	6	-1,185	0,118	0,093	4,278
3	$(5; 6)$	5,5	9	-0,413	0,34	0,222	10,212
4	$(7; 8)$	7,5	17	0,359	0,64	0,3	13,8
5	$(9; 10)$	9,5	8	1,131	0,871	0,231	10,626
6	$(11; 12)$	11,5	3	1,903	0,971	0,101	4,646
7	$(13; +\infty)$	13,5	1	$+\infty$	1	0,029	1,334

Z tabulky lze zjistit, že prvky škály x_1 a x_7 nespĺňují pravidlo χ^2 testu - absolutní četnost prvků škály musí být rovna nebo větší než 5. Z tohoto důvodu je potřeba sloučit intervaly x_1 a x_2 a intervaly x_6 a x_7 . Po sloučení (v diplomové práci byly pro jistotu sloučeny první tři intervaly s cílem upřednostnit střední počet získaných bodů) získáme následující tabulku:

Tabulka č. 7: Tabulka splňující předpoklady Pearsonova χ^2 testu

x_i	$x_i (a;b)$	x_i střed. hodnota	n_i	np_i
1, 2, 3	$(-\infty; 6)$	3	17	15,64
4	$(7; 8)$	7,5	17	13,8
5	$(9; 10)$	9,5	8	10,626
6, 7	$(11; +\infty)$	12	4	5,98

Pro získání χ^2_{exp} použijeme vzorec.:

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

$$\frac{(n_{1,2} - np_{1,2})^2}{np_{1,2}} = \frac{(17 - 15,64)^2}{15,64} = 0,118$$

$$\frac{(n_3 - np_3)^2}{np_3} = \frac{(9 - 10,212)^2}{10,212} = 0,144$$

$$\frac{(n_4 - np_4)^2}{np_4} = \frac{(17 - 13,8)^2}{13,8} = 0,742$$

$$\frac{(n_5 - np_5)^2}{np_5} = \frac{(8 - 10,626)^2}{10,626} = 0,649$$

$$\frac{(n_{6,7} - np_{6,7})^2}{np_{6,7}} = \frac{(4 - 5,98)^2}{5,98} = 0,656$$

$$\chi_{exp}^2 = \sum_{i=1}^5 \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$$

$$\chi_{exp}^2 = 0,118 + 0,144 + 0,742 + 0,649 + 0,656$$

$$\chi_{exp}^2 = 2,309$$

Abychom mohli využít aparátu nulových a alternativních hypotéz, je potřeba srovnat experimentální testové kritérium χ_{exp}^2 s $\chi_{teoretický}^2$

$$\chi_{teoretický}^2 = \chi_{k-r-1}^2$$

$$\chi_{teoretický}^2 = \chi_{4-2-1}^2 = \chi_{5-2-1}^2$$

$$\chi_{teoretický}^2 = \chi_2^2$$

Kritický bod W

$$W = \chi_{teoretický}^2(\alpha), +\infty)$$

$$W = \chi_1^2(\alpha 0,05), +\infty)$$

$$W = < 3,84, +\infty)$$

$\chi_{exp}^2 \notin W$ na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ je možno empirické rozložení četnosti nahradit teoretický normálovým rozdělením

4. Diskuse

Tato část diplomové práce se bude věnovat rozebrání důležitých částí této diplomové práce. Nejprve budou popsány mimořádné události, jejichž podstatu lze vysvětlit pomocí kvantové a relativistické fyziky, a poté výsledky jednotlivých forem kurikula. Pro lepší orientaci bude rozdělena na jednotlivé části.

4.1. *Mimořádné události spojené s kvantovou a relativistickou fyzikou*

V teoretické části byly podrobněji popsány mimořádné události a poté základní fyzikální vztahy kvantové a relativistické fyziky. Předmětem zájmu v této části budou jen mimořádné události, jejichž příčiny můžeme vysvětlit pomocí kvantové a relativistické fyziky – blesk a radiační havárie.

Blesk lze popsat jako silný výboj jisker, jenž se vytváří mezi centry elektrického náboje s protikladnou polaritou. Tato centra se vytváří v bouřkových mracích zvaných Cumulonimbus. Jedna z teorií popisuje vznik bouřkového mraku během srážky ledových krup a malých ledových krystalků, přičemž dochází k přeskoku jednoho či více elektronů. Následně krystalky získají kladný náboj a stoupají vzhůru. Naopak ledové krystalky se nabíjí záporně a klesají dolů. Takto nabitý mrak se nazývá polarizovaný. Existuje několik dalších teorií zabývajících se vznikem bouřkového mraku, nicméně žádná přesně a věrohodně nepopisuje tento proces. Bouřkový mrak dosahuje velkých rozměrů, na výšku až několik desítek kilometrů, a vzniká spojením z kupy menších mraků. Má specifický tvar, jenž se rozšiřuje v horní části. Mnohdy bývá přirovnáván ke kovadlině ukotvené ve květákovitém útvaru.

Pokud se mrak pohybuje krajinou, dochází k tomu, že na povrchu země pod mrakem se vytváří kladně nabitá skvrna. Tato skvrna vzniká díky spodní záporné části mraku, v níž se skokovitě tvoří rozvětvené kanálky mající záporný náboj. Jestliže se na zemi nachází vyvýšený vodivý objekt, směrem vzhůru se vytvoří kanálky. Tyto kanálky jsou však kratší a mají kladný náboj. Pokud dojde k propojení, vytvoří se vodivý kanál. Tímto kanálem protečou záporné náboje ze spodního segmentu mraku směrem k zemi. Poté dochází ke zpětnému výboji, při němž jsou kladné náboje od země přesunuty k mraku. Tento zpětný výboj způsobuje ohřátí kanálu až na 30 000 °C. Zahřáté plazma rychle expanduje, přičemž má tlak pětinasobně vyšší než okolí. Vzniká nadzvuková rázová vlna, jejíž zvukové projevy vnímáme jako hrom.

Radiační havárie je jedna z nejzávažnějších mimořádných událostí, při níž dochází k úniku velkého kvanta ionizujícího záření či radioaktivních látek do životního prostředí nebo dochází k nadměrnému ozáření osob. Rozlišujeme několik radiačních havárií: jaderná havárie v jaderné elektrárně, jaderná zbraň či termonukleární zbraň. Při radiační havárii dochází k neřízené řetězové reakci jader těžkých prvků či slučování jader lehkých prvků (termonukleární zbraň). Při neřízené řetězové reakci jader těžkých prvků se slučují dva štěpné materiály. Jejich sloučením se dostanou do kritického stavu, při němž je nastartována řetězová reakce a dochází k výbuchu. Uvolňuje se energie podle vzorce $E=mc^2$, která je dále přenesena ve formě tlakových vln, tepelného záření, ionizujícího záření, radioaktivních látek a elektromagnetických impulzů. První tři jmenované formy, jsou vyzářeny ihned. Naopak část radioaktivního je vyzářen postupně v podobě radioaktivního spádu. Nebezpečí jaderného spádu spočívá v jeho vysoké koncentraci a dopadu na zem až několik kilometrů od místa výbuchu.

4.2. Komparace struktury mimořádných událostí a struktury kvantové a relativistické fyziky

V předchozích odstavcích byly popsány mimořádné události blesk a radiační havárie, jejichž podstatu lze vysvětlit pomocí kvantové a relativistické fyziky. Mechanismus vzniku blesku lze vysvětlit pomocí reakcí kvantové fyziky, přičemž tyto fyzikální děje jsou spojeny s vlnově-korpuskulárním dualismem fotonu. Naopak radiační havárie je spojena s relativistickou fyzikou především se speciální teorií relativity – vztah pro kontrakci délek, dilataci času a Einsteinův vztah pro energii. Jako sekundární projev radiační havárie vzniká ionizující záření. Ionizující záření se rozděluje na několik druhů, přičemž nejnebezpečnější je gama a neutronové záření. Během gama rozpadu vznikají energetické fotony. Pokud tyto energetické fotony reagují s elektronem v orbitalu atomu (vzniká fotoelektrický jev) a se slabě vázaným orbitálním elektronem, dochází ke Comptonovu rozptylu. Fotoelektrický jev a Comptonův rozptyl jsou formy vlnově-korpuskulárního dualismu.

Tyto fyzikální (kvantové a relativistické) děje mají společné charakteristické rysy: probíhají na úrovni elementárních částic a rychlosti těchto reakcí jsou kompatibilní s rychlostí světla. Speciální teorie ale pracuje s rychlostmi blízcími se rychlostem světla, nikoliv s vysokými hustotami hmotnosti. Nutno ještě dodat, že některé mikroaspekty obecné teorie relativity (spojené s vysokými hustotami) se mohou projevit v mikroskopickém měřítku spojeném se zakřivenými prostory. Tyto mikroaspekty nebyly

ovšem dosud hlouběji zkoumány a z hlediska ochrany obyvatelstva a struktury MU nehrají podstatnou roli. Přesto je vedle dominance speciální teorie relativity zapotřebí upozornit také na obecnou teorii relativity.

4.3. Varietní formy kurikula

V rámci konceptuálního kurikula byly v této práci předloženy příčiny mimořádných událostí, vlnově-korpuskulární dualismus (kvantová fyzika) a speciální teorie relativity (relativistická fyzika). Pro tyto struktury byly navrženy modely odvození (zamýšlené kurikulum), jež byly přizpůsobeny studentům Civilní nouzové připravenosti. Jelikož výsledky statistického šetření ukázaly na normálové rozložení, je možno navržené struktury konceptuálního kurikula považovat za dostačující. Ze stejných důvodů lze považovat za akceptovatelný model příčin vzniku mimořádných událostí, vlnově-korpuskulárního dualismu a speciální teorie relativity.

V rámci praktické části byl vytvořen edukační text (projektové kurikulum) a edukační test (implementované kurikulum-1). Výsledky neparametrického šetření nám dovolují přijetí nulové hypotézy, což lze považovat za adekvátní výsledek vzhledem k plnění cílů diplomové práce.

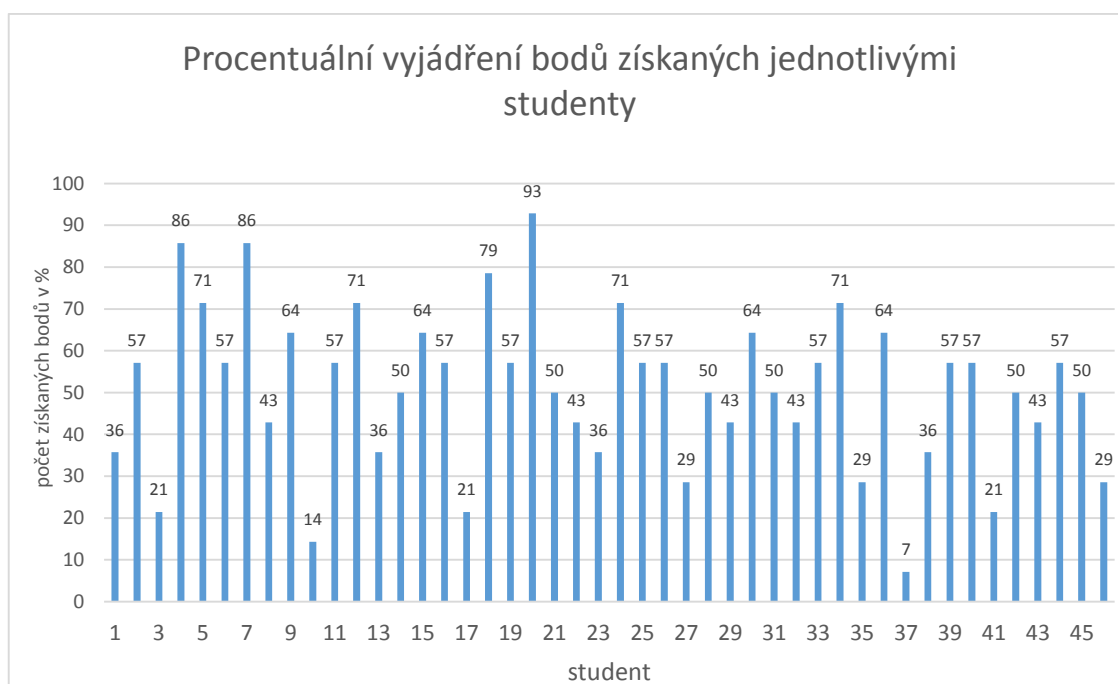
V rámci implementovaného kurikula-2 byly statisticky zpracovány výsledky testu pro studenty Civilní nouzové připravenosti, na jejichž podkladě bylo možné přijat nulovou hypotézu. Pro přijetí nulové hypotézy musí být splněna podmínka, že empirické rozdělení lze nahradit normálovým rozdělením graficky vykresleným Gaussovou křivkou. Tímto je také potvrzena pravdivost první hypotézy, jež zněla: *Komparaci struktury příčin MU a struktury kvantové a relativistické fyziky lze vymezit formalismy kvantové a relativistické fyziky potřebné pro zkoumání příčin mimořádných událostí*

Výsledky statistického šetření svědčí o normálovém rozdělení, což nám potvrdil výpočet parametru špičatosti N_4 a excesu. Získaná hodnota parametru špičatosti a excesu byla menší než ideální hodnota Gaussovy křivky a vyjadřovala menší špičatost než normálové rozdělení. Předpoklad, že můžeme nahradit empirické rozdělení teoretickým normálním rozdělením, bezpochyby potvrdila aplikace neparametrického testování. Prvkem kritického oboru nebyla experimentální hodnota. To potvrzuje fakt, že lze nahradit empirické rozdělení četností Gaussovým rozdělením. Tento závěr umožňuje přijetí nulové hypotézy a potvrzení adekvátnosti edukačního textu a edukačního testu. Ze závěru vyplývá také fakt, že aplikace kurikulárního procesu byla úspěšná a je možno

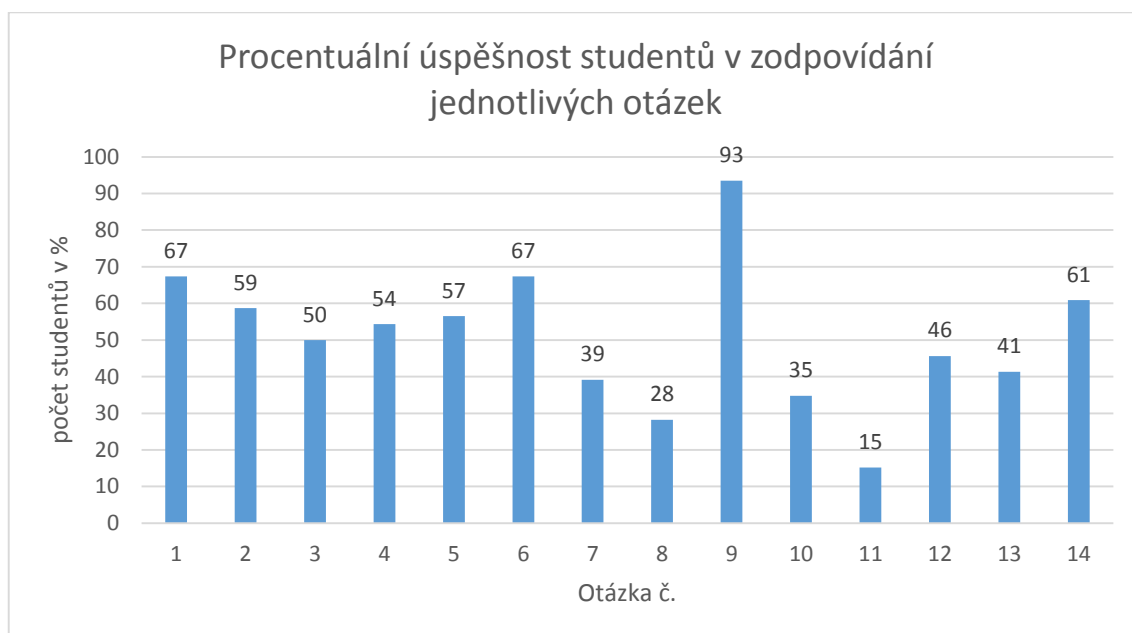
přijmout platnost druhé hypotézy: *Informovanost odborné veřejnosti lze zvýšit aplikací teorie kurikulárního procesu.*

Statistickým šetřením bylo dokázáno normální rozdělení statistického souboru. Nicméně tato skutečnost nevypovídá o dílčích analýzách. V edukativním testu bylo možno získat nejvíce 14 bodů. Nejvyšší dosažený výsledek 13 bodů dosáhli 2 studenti, naopak nejnižší výsledek 2 body získal 1 student. Pokud je předmětem zájmu jakékoliv statistické šetření, měl by být brán zřetel na jednotlivé výsledky respondentů. Pokud by všichni respondenti zodpověděli správně polovinu otázek, Gaussovo normálové rozdělení by bylo diskutabilní. Proto bylo vytvořeno v této části diplomové práce sloupcový diagram popisující procentuální úspěšnost jednotlivými studenty a sloupcový diagram zobrazuje úspěšnost studentů v zodpovídání jednotlivých otázek.

Obrázek č. 6 Procentuální vyjádření bodů získaných jednotlivými studenty



Obrázek č 7 Procentuální úspěšnost studentů v zodpovídání jednotlivých otázek



Z prvního diagramu lze vypočítat, že výsledky edukačního testu dosáhli normálního a většina studentů dosahovala průměrných znalostí. Pouze 17 % (8 studentů) dosáhlo 71 % a více bodů.

V druhém grafu lze zjistit úspěšnost v jednotlivých otázkách. Otázka s nejnižší úspěšností jsou:

7) Jak se změní hmotnost tělesa pohybujícího se velmi vysokou rychlostí (až rychlostí světla)?

8) Jak se mění čas pozorovatele cestujícího v kosmické raketě velmi vysokou rychlostí vůči pozorovateli na Zemi?

10) Jak se změní délka tělesa pohybujícího se velmi vysokou rychlostí ve vesmíru vzhledem ke stojícímu pozorovateli na Zemi?

11) Jaký je rozdíl mezi speciální a obecnou teorií relativity?

Výsledkem diplomové práce je potvrzení obou hypotéz, nicméně lze vyčíst, že studenti měli nejvíce potíží se zvládnutím otázek z relativistické fyziky. Pro pochopení příčin mimořádných událostí jsou tyto informace klíčové.

5. Závěr

Předmětem této diplomové práce bylo vystihnout podstatu kvantové a relativistické fyziky při vzniku mimořádných událostí a následně aplikace kurikulárního procesu za účelem zvýšení informovanosti odborné veřejnosti.

Nejprve byl vědecký systém mimořádných událostí, kvantové fyziky a relativistické fyziky analyzován a poté transformován pomocí komunikační transformace T^1 . Výsledkem transformace bylo konceptuální kurikulum. Konceptuálního kurikula byla tvořena ze sdělitelného systému mimořádných událostí, kvantové a relativistické fyziky.

Následně byla provedena obsahová transformace T^2 konceptuálního kurikula na didaktický systém mimořádných událostí, kvantové nestatické a relativistické fyziky a jejich učiva. Všechny předložené informace byly přizpůsobeny znalostem a dovednostem studentů Civilní nouzové připravenosti.

Transformací zamýšleného kurikula vzniklo projektové kurikulum, v jehož rámci byl zpracován edukační text (viz příloha Edukační text).

Následovala transformace projektového kurikula na implementované kurikulum-1. Byl vytvořen edukační test (viz příloha Edukační test) pro studenty Civilní nouzové připravenosti. Otázky vycházely pouze z edukačního textu. Tento test byl formou otázek s výběrem z několika odpovědí (tzv. multiple-choice test) a obsahoval čtyři možnosti odpovědi. Pouze jedna odpověď byla vždy správná.

Jako poslední část kurikulárního procesu diplomové práce bylo zpracováno implementované kurikulum-2, jež vzniklo transformací implementovaného kurikula-1. Implementované kurikulum-2 bylo zaměřené na zpracování výsledků edukativního testu. Tyto testy byly verifikovány metodami deskriptivní a matematické statistiky. Byly použity metody jako formulace statistického šetření, škálování, měření v deskriptivní statistice, elementární statistické zpracování a neparametrické testování.

První hypotéza: *„Komparací struktury příčin MU a struktury kvantové a relativistické fyziky lze vymezit formalismy kvantové a relativistické fyziky potřebné pro zkoumání příčin mimořádných událostí“*

Druhá hypotéza: *Informovanost odborné veřejnosti lze zvýšit aplikací teorie kurikulárního procesu. Pravdivost této hypotézy nám potvrdilo statistické šetření.*

Obě hypotézy byly potvrzeny aplikací metod logických, metod empirických a metod šetření datových souborů. Komparace potřebných znalostí kvantové a relativistické fyziky se strukturou mimořádných událostí umožnila vymezit fyzikální kvantové a

relativistické základy potřebné pro pochopení vybraných mimořádných událostí. Takto vymezené základy vedly k tvorbě edukačního textu a edukačního dotazníku a ke způsobu aplikace dotazníků. Postup navržený teorií kurikulárního procesu směřoval k přiměřenosti znalostí a jejich potřebnosti k zvládnutí vymezených částí programu Civilní nouzové připravenosti (a případně i programů příbuzných). Normalita rozložení znalosti prokázala aplikabilitu teorie kurikulárního procesu ve zkoumané edukační oblasti.

Přínosy uvedené diplomové práce:

- Teoretické přínosy práce:
 - Aplikace kurikulárního procesu pro zvýšení informovanosti odborné veřejnosti
 - Použití algoritmu statistiky pro ověření hypotéz.
- Praktické přínosy práce:
 - Edukační test i text, které jsou přizpůsobeny pro studenty Civilní nouzové připravenosti, tudíž mohou být použity jako součást výuky.

6. Zdroje

- 1) PRŮCHA, J., 2013. *Moderní pedagogika*. 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Portál. 488 s. ISBN 9788026204565.
- 2) KOPECKÝ, M., TILCEROVÁ, E., ŠIMAN, J., 2014. *Ochrana člověka za mimořádných událostí*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 103 s. ISBN 978-80-244-4094-1.
- 3) NOVÁKOVÁ, J., KRULÍK, O., BUREŠ, R., 2011. *Úvod do bezpečnosti a krizového řízení I.: mimořádné události, jejich členění a negativní dopady na základní funkce státu*. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze. 112 s. ISBN 978-807251-343-7.
- 4) SMETANA, M., 2011. *Integrovaný záchranný systém*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta. 155 s. ISBN 978-80-7368-808-0.
- 5) ROUDNÝ, R., 2004. *Krizový management: kombinovaná forma studia*. Pardubice: Univerzita Pardubice. 97 s. ISBN 80-7194-674-5.
- 6) LÍBAL, L., PATOČKA, J., ZÁŠKODNÁ, H., ZÁŠKODNÝ, P., 2017. *Vybrané kapitoly dějin vědy*. Praha: Publishing House CVURRICULUM. 229 s. ISBN 978-80-87894-16-3.
- 7) LANK, V., VONDRA, M., 2007. *Fyzika v kostce: pro střední školy*. Praha: Fragment. 184 s. ISBN 8025302288.
- 8) ŠTOLL, I., 2010. *Fyzika pro gymnázia*. 4. vyd. Praha: Prometheus. 196 s. ISBN 978-80-7196-386-8.
- 9) CHASÁK, J., ŠLITROVÁ, T., 2017. *Fyzika bez nervů: přehled středoškolské fyziky*. Rychnov nad Kněžnou: vydali vlastním nákladem autoři. 146 s. ISBN 978-80-270-2401-8.
- 10) BLAŽKOVÁ, K. et al., 2015. *Ochrana obyvatelstva a krizové řízení: skripta*. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. 323 s. ISBN 978-80-86466-62-0.
- 11) ZPĚVÁK, A., 2014. *Ochrana obyvatelstva v republikovém měřítku*. Praha: Univerzita Jana Amose Komenského Praha. 240 s. ISBN 978-80-7452-044-0.
- 12) SKŘEHOT, P., 2009. *Prevence nehod a havárií*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce. 595 s. ISBN 978-80-86973-73-9.
- 13) LOŠEK, V., 2013. *Integrovaný záchranný systém*. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 73. ISBN 978-80-7454-287-9.

- 14) LUKÁŠ, L., 2011. *Informační podpora integrovaného záchranného systému*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. 182 s. ISBN 978-80-7385-105-7.
- 15) URBANOVÁ, M., 2000. *Fyzika II*. Praha: VŠCHT. 216 s. ISBN 978-80-7080-372-1.
- 16) JANEČEK, I., 2003. *Atomová a jaderná fyzika*. Ostrava: Ostravská univerzita. Systém celoživotního vzdělávání Moravskoslezska. 123 s. ISBN 80-7042-882-1-1.
- 17) PRACHAŘ, J., 2005. *Fyzika mikrosvěta*. Kunovice: Evropský polytechnický institut. 28 s. ISBN 80-7314-053-5.
- 18) VYBÍRAL, B., 2008. *Teorie relativity a gravitace*. 2., dopl. vyd. Hradec Králové: Gaudeamus. 195 s. ISBN 978-80-7041-166-7.
- 19) RICHTEREK, L., 2012. *Teorie relativity a astronomie: studijní modul*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 122 s. ISBN 978-80-244-3335-6.
- 20) ÚLEHLA, I., 1990. *Atomy, jádra, částice: celostátní vysokoškolská učebnice pro stud. matematicko-fyzikálních a přírodověd. fakult.* Praha: Academia. 496 s. ISBN 80-200-0135-2.
- 21) ZETTILI, N., 2009. *Quantum Mechanics Concepts and Applications*. Jacksonville: Wiley-Blackwell. 688 s. ISBN 978-0-470-02679-3
- 22) FOWLER, M., 2008. *The Photoelectric Effect* [online]. [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: http://galileo.phys.virginia.edu/classes/252/photoelectric_effect.html
- 23) JANKŮ, V., 1984. *Kalsická relativistická teorie pohybu částice a soustavy částic*. Brno: VA AZ 134 s.
- 24) PROCHÁZKOVÁ, D., 2008. *Nebezpečné chemické látky a chemické přípravky a průmyslové nehody*. Praha: Vydavatelství PA ČR. 418 s. ISBN 978-80-7251-275-1.
- 25) MARTÍNEK, B., 2003. *Ochrana člověka za mimořádných událostí*. MV-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. 118 s. ISBN 80-86640-08-6.
- 26) ČERNOCH, F., 2004. *Ochrana člověka za mimořádných událostí – Osobní bezpečí*. Praha: Albra, 55 s. ISBN 80-86490-90-4.
- 27) Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, 2000. [online]. [cit. 2017-07-15]. In: Sbírká zákonů České

- republiky, částka 73, s. 3461-3474. ISSN 1211-1244. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>.
- 28) Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), 2000. [online]. [cit. 2018-04-15]. In: Sbírka zákonů České republiky, částka 73, s. 3461-3474. ISSN 1211-1244. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>.
- 29) Zákon č. 110/1998 Sb., o bezpečnosti České republiky. 1998. [online]. [cit. 2017-07-15]. In: Sbírka zákonů České republiky, částka 127, s. 5386-5387. ISSN 1211-1244. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>.
- 30) Zákon č. 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému, 2001. [online]. [cit. 2018-04-15]. In: Sbírka zákonů České republiky, částka 39, s. 7447-7464. ISSN 1211-1244. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>.
- 31) Zákon č. 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému, 2001. [online]. [cit. 2018-04-15]. In: Sbírka zákonů České republiky, částka 127, s. 7447-7464. ISSN 1211-1244. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>.
- 32) Zákon č. 380/2002 Sb., k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva, 2002. [online]. [cit. 2018-04-15]. In: Sbírka zákonů České republiky, částka 133, s. 7447-7464. ISSN 7730-7746. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>.
- 33) Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, 2000. [online]. [cit. 2018-04-15]. In: Sbírka zákonů České republiky, částka 74, s. 3622-3662. ISSN 1211-1244. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>.
- 34) Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo směsí, 2015. [online]. [cit. 2018-04-15]. In: Sbírka zákonů České republiky, částka 93, s. 2762-2835. ISSN 1211-1244. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>.
- 35) Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, 1985. [online]. [cit. 2018-04-15]. In: Sbírka zákonů České republiky,

- částka 34, s. 674-691. ISSN 1211-1244. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>.
- 36) Zákon č. 247/2001 Sb., o organizaci a činnosti požárních jednotek, 2001. . [online]. [cit. 2018-04-15]. In: Sbírka zákonů České republiky, částka 95, s. 5490-5506. ISSN 1211-1244. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3461>.
- 37) MIKA, J., ZEMAN, M., 2007. *Integrovaný záchranný systém*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. 51 s. ISBN 978-80-214-3448-6.
- 38) JURŇÍKOVÁ, J., 2009. *Správní právo: zvláštní část*. 6. dopl. vyd. Brno: Masarykova univerzita. 78 s. ISBN 9788021048478.
- 39) JAKUBCOVÁ, L., ŠUGÁR, J., 2013. *Bezpečnost a krizové řízení*. 1. vyd. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze. 152 s. ISBN: 978-80-7251-400-7.
- 40) PROCHÁZKOVÁ, D., 2009. *Krizové řízení, havarijní plánování a ochrana obyvatelstva*. 1. vyd. České Budějovice: Vysoká škola evropských a regionálních studií. 111 s. ISBN 978-80-86708-86-7.
- 41) ZEMAN, M., MIKA, O., 2007. *Ochrana obyvatelstva*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, fakulta chemická. 115 s. ISBN 978-80-214-3449-3.
- 42) MCPHEE, I., 2010. *The bedside book of physics*. Sydney: Murdoch Books. 176 s. ISBN 9781742660370.
- 43) KRÁLÍČEK, V., 2004. *Jak chápu chápu rozdíl mezi klasickou a kvantovou fyzikou* [online]. [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: <http://cgg.mff.cuni.cz/~vajicek/oldpages/docs/fyzika2.pdf>
- 44) FOWLER, M., 2006. *The Photoelectric Effect* [online]. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: http://galileo.phys.virginia.edu/classes/252/photoelectric_effect.html
- 45) ZÁŠKODNÝ, P., 2005. *Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii)*. 1. vydání. Bratislava: Avenir Stiftung. 264 s. ISBN 80-89160-19-0.
- 46) WALTER, G., 2011. *Quantum Mechanics: An Introduction*. 4. vydání. Springer Science & Business Media. 486 s. ISBN 9783642568268.
- 47) REICHL, J., VŠETIČKA, M., 2006. *První Heisenbergova relace neurčitosti*. [online]. [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/735-prvni-heisenbergova-relace-neurcitosti>.

- 48) NAVE, C. R., 2016., *Wave-particle Duality: Light* [online]. [cit. 2018-04-09]. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod1.html>
- 49) WALKER, J., 2014. *Fundamentals of physics*. Tenth edition, extended. Hoboken: Wiley. ISBN 978-1118230619.
- 50) KRÁLOVÁ, M., 2015. *De Broglieho vlnová hypotéza* [online]. [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/kvanta/de-broglieho-vlnova-hypoteza>.
- 51) KUSALA, J., 2005. *Speciální teorie relativity* [online]. [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/einstein/fl.htm>
- 52) EINSTEIN, A., 2016. *Smysl relativity*. Praha: Vyšehrad. 164 s. ISBN 978-80-7429-537-9.
- 53) EINSTEIN, A., 1909. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* [online]. [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <https://link.springer.com>
- 54) BEDNAŘÍK, M., 2011. *Fyzika 1*. V Praze: České vysoké učení technické. 431 s. ISBN 978-80-01-04834-4.
- 55) MIKŠ, A., NOVÁK, J., 2013. *Fyzika 1*. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické. 189 s. ISBN 978-80-01-05201-3.
- 56) ZÁŠKODNÝ, P., 2006. *Survey of principles of theoretical physics: (with application to radiology)*. Ostrava: Algoritmus. 317 s. ISBN 80-902491-9-1.
- 57) KULHÁNEK, P., 2002. *Fyzika 2: semináře*. Praha: Vydavatelství ČVUT. 144 s. ISBN 80-01-02584-5.
- 58) ULLMANN, V., 1986. *Gravitace, černé díry a fyzika prostoročasu*. Ostrava: Československá astronomická společnost při ČSAV. 272 s.
- 59) ZÁŠKODNÝ, P., 2009: *Kurikulární proces fyziky*. Curriculum, Praha. 429 s. ISBN 978-975-8401-67-3
- 60) HOWELL, E., 2017. *Einstein's Theory of Special Relativity*. [online]. [cit. 2017-07-23]. Dostupné z: <https://www.space.com>
- 61) HARRISON, D., 1999. *The Special Theory of Relativity*. [online]. [cit. 2017-07-23]. Dostupné z: <https://faraday.physics.utoronto.ca>
- 62) VEVERKA, I., 2003. *Vybrané kapitoly krizového řízení pro záchranářství*. Praha: Vydavatelství PA ČR. 175 s. ISBN 9788072511266.
- 63) HARRIS, P., 2016. *Special relativity*. [online]. [cit. 2017-07-23]. Dostupné z: <https://web.stanford.edu/~oas/SI/SRGR/notes/srHarris.pdf>

- 64) SHUKLA, G., 2008. *Quantum number*. [online]. [cit. 2017-07-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com>
- 65) SOULT, A., WOODRUM, K., 2012. *Quantum numbers*. [online]. [cit. 2017-07-23]. Dostupné z: <https://www.coursera.org>
- 66) WEISSTEIN, E. W., 2007. *Special relativity*. [online]. [cit. 2017-07-23]. Dostupné z: <http://scienceworld.wolfram.com>

Seznam zkratk

MU	mimořádná událost
IZS	integrovaný záchranný systém
tzv.	tak zvaný

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Grafické znázornění didaktických transformací jednotlivých variantních forem kurikula

Obrázek č. 2: Rozdělení mimořádných událostí

Obrázek č. 3 Polygon relativní četnosti

Obrázek č. 4 Polygon absolutní četnosti

Obrázek č. 5 Polygon kumulativní četnosti

Obrázek č. 6 Procentuální vyjádření bodů získaných jednotlivými studenty

Obrázek č. 7: Rozdělení mimořádných událostí

Obrázek č. 8 Procentuální úspěšnost studentů v zodpovídání jednotlivých otázek

Obrázek č. 4 Fotoelektrický jev

Obrázek č. 5 Comptonův jev

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Shrnutí jevů a jejich možné vysvětlení

Tabulka č. 2: Tabulka elementárního statistického zpracování

Tabulka č. 4: Tabulka elementárního statistického zpracování

Tabulka č. 5: Důležité hodnoty pro neparametrické testování

Tabulka č. 6: Souhrn výpočtů Pearsonův χ^2 test

Tabulka č. 7: Tabulka splňující předpoklady Pearsonova χ^2 testu

Přílohy

Edukační text

Formalismy kvantové a relativistické fyziky při zkoumání příčin mimořádných událostí

Mimořádné události

Mimořádné události jsou v zákoně č. 239/2000 Sb., zákon o integrovaném záchranném systému, definovány jako jakákoliv nestandardní situace způsobená škodlivým účinkem sil a jevů. Tyto síly a jevy vznikají působením nebo činností člověka, přírodních vlivů a havárií. Ohrožují nejen zdraví, život, životní prostředí, ale i majetek. Během a bezprostředně po konci mimořádné události je nutné provést záchranné a likvidační práce.

Dělení mimořádných událostí

Mimořádné události lze rozdělit pomocí více rozdílných kritérií. Zde bude použita klasifikace podle příčiny vzniku:

Přírodní (naturogenní) mimořádné události

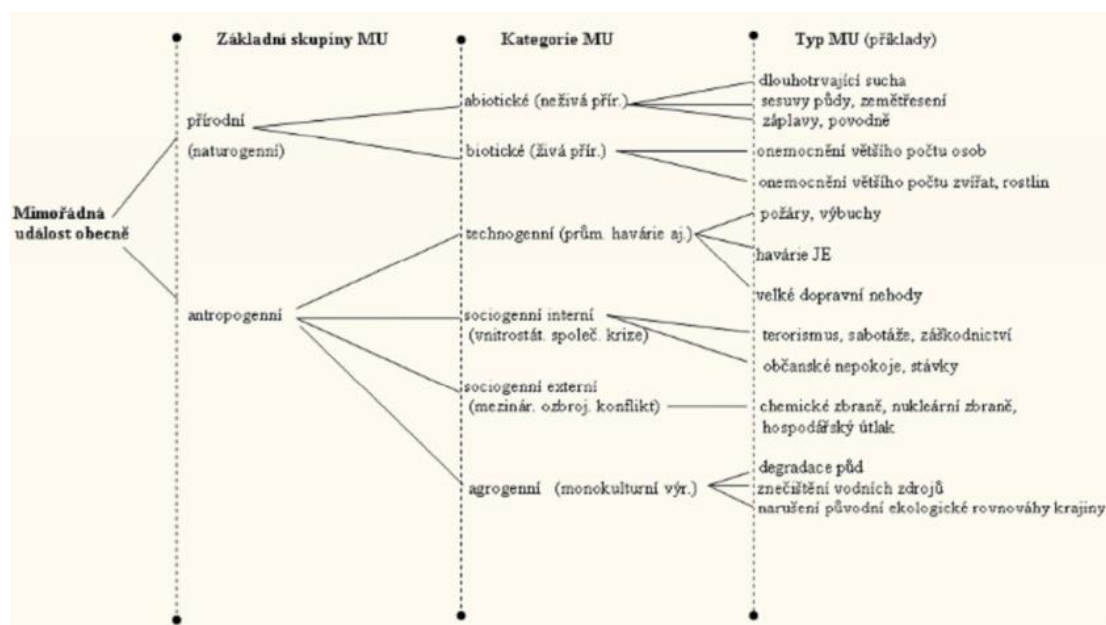
Tento druh je způsoben negativními přírodními jevy, silami či nákazami. Většinou se objeví neočekávaně, zpusťoší určité území, způsobí škody na majetku, hladomor, infekce, požáry, unik nebezpečných látek, znehodnocení zdroje obživy a další. Přírodní mimořádné události lze dále rozdělit na živelní (abiotické) a biologické (biotické) pohromy. (Kopecký et al., 2014)

Antropogenní mimořádné události (katastrofa, havárie)

Mimořádné události, které jsou způsobené nejrůznější činností lidstva, během nichž dochází k uvolnění neregulovatelné množství energií a hmot. To způsobuje poškození či narušení budov a různých technických strojů a zařízení. Dochází však i k ohrožení lidských životů a zdraví, majetku, ale i životního prostředí. Antropogenní mimořádné události je možné dále rozčlenit na technogenní (provozní havárie, automobilové nehody apod.), sociogenní (zapříčiněné společností) a agrogenní (související se zemědělstvím, půdou a vodními zdroji). (Zeman et al., 2007)

Smíšené (synergické) události

U smíšené (synergické) události dochází k situaci, že primární mimořádná událost zapříčiní vznik jiné sekundární události. Většinou tyto události probíhají souběžně. (Nováková et al., 2011)



Obrázek č. 8: Rozdělení mimořádných událostí

Zdroj: VEVERKA, I., 2003. *Vybrané kapitoly krizového řízení pro záchranářství*. Praha: Vydavatelství PA ČR. 175 s. ISBN 9788072511266.

Mimořádné události, jejichž příčinu lze popsat pomocí kvantové a relativistické fyziky, jsou blesk a radiační havárie. Mechanismus vzniku blesku lze vysvětlit pomocí kvantové fyziky, přičemž tyto fyzikální děje jsou spojeny s vlnově-korpuskulárním dualismem elektronu. Naopak radiační havárie je spojena s relativistickou fyzikou především se speciální teorií relativity – vztah pro kontrakci délek, dilataci času a Einsteinův vztah pro energii. Jako sekundární projev radiační havárie vzniká ionizující záření. Ionizující záření se rozděluje na několik druhů, přičemž nejnebezpečnější je gama a neutronové záření. Během gama rozpadu vznikají energetické fotony. Tyto energetické fotony mohou reagovat s elektronem v orbitalu atomu (vzniká fotoelektrický jev) anebo se slabě vázaným orbitálním elektronem (dochází ke Comptonovu rozptylu). Fotoelektrický jev a Comptonův rozptyl jsou formy vlnově-korpuskulárního dualismu.

Relativistická fyzika

Jedná se o ucelenou teorii, která zkoumá a popisuje objekty mikrosvěta, jejichž klidová hmotnost je větší než nula. Kvantové mechanika byla vystavěna na experimentech zkoumajících intenzitu čar ve spektrech záření a vlnově-korpuskulární dualismus. (Úlehla et al., 1990)

Základ relativistické fyzice položil Max Planck, který ve své práci sepsal kvantovou hypotézu. Hlavní myšlenkou kvantové hypotézy je, že energie je pohlcována nebo vyzařována atomárními částicemi vždy v určitých dávkách – kvantech. Tuto energii lze zapsat do rovnice, kde vystupuje frekvence f a Planckova konstanta h (Štoll, 2002):

$$E = hf$$

Kvantové vlastnosti fotonů

Fotony jsou částice světla, které mají energii. Projevuje se u nich vlnově-korpuskulární dualismus. To lze vysvětlit tak, že látka má vlastnosti částice a vlny, které se navzájem doplňují a jsou spolu úzce spjaty. (Chasák et al., 2017)

Fotony lze popsat jako částice, které mají nulovou klidovou hmotnost a pohybují se rychlostí c . Pokud se foton pohybuje, získává tím i hmotnost podle Einsteinova vztahu $E=mc^2$. Částicovou vlastnost fotonu popisuje nejen hmotnost ale i hybnost. Hybnost fotonu lze vyjádřit ve tvaru:

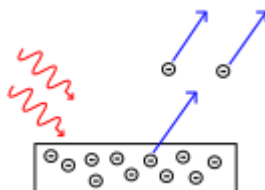
$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{hf}{c}$$

h je Planckova konstanta, λ vlnová délka fotonu, f je frekvence a c je rychlost světla. (Chasák et al., 2017)

Vlnové vlastnosti fotonu lze dokázat při průchodu světelného záření štěrbinou. Za štěrbinou je umístěné stínítko, na které dopadají fotony. Dochází ke vzniku interferenčního maxima a minima, přičemž nejvíc fotonů dopadá na místo interferenčních maxim. Na stínítku vzniká obrazec z velkého množství fotonů. Podle vlnové vlastnosti je možno určit místo, kam foton dopadne. Nicméně toto místo nelze určit přesně, je možné určit pouze pravděpodobnost výskytu. (Chasák et al., 2017)

Fotoelektrický jev

Fotoelektrický jev je děj, při kterém dochází působením elektromagnetického záření k uvolnění elektronů z látky. K fotoefektu dochází především u pevných látek (kovů a polovodičů). Aby došlo k fotoefektu, musí mít dopadající elektromagnetické záření hodnotu frekvence rovnou nebo vyšší mezní frekvenci látky, na niž dopadá elektromagnetické záření. Kinetická energie uvolněných elektronů je závislá na frekvenci dopadajícího elektromagnetického záření. (Lank et al., 2007)



Obrázek č. 9 Fotoelektrický jev

Zdroj: NOŽKA, M., 2015. *Optické zdroje a detektory*. [online]. [cit. 2017-07-09] http://mamut.spseol.cz/nozka/psk/052-opticke_zdroje_detektory//tisk.html

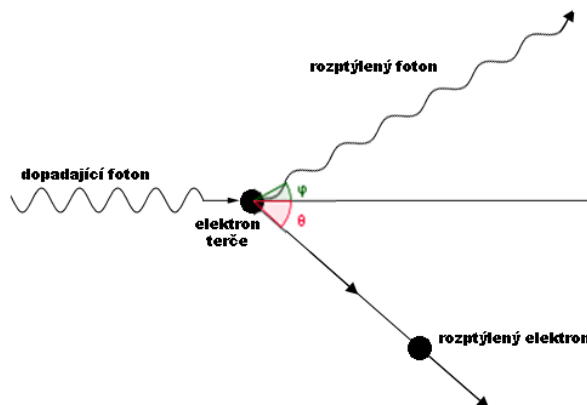
Comptonův jev

Během Comptonova jevu dochází k rozptylu fotonu rentgenového záření nebo gama záření na volném elektronu. Elektron díky nárazu získá energii a dá se do pohybu a zároveň vyrazí foton. Vyražený foton má nižší energii a pro celý děj platí:

$$E_{\text{foton před srážkou}} = E_{\text{foton po srážce}} + E_{\text{elektronu}}, \text{ takže } hf_1 = hf_2 + \frac{1}{2}m_e v^2$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že frekvence f_1 fotonu před srážkou je vyšší než frekvence f_2 fotonu po srážce. Naopak vlnová délka λ_1 fotonu před srážkou je nižší než vlnová délka λ_2 po srážce. Tento rozdíl se nazývá Comptonův posun (Štoll et al., 2002):

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$



Obrázek č. 10 Comptonův jev

Zdroj: KRÁLOVÁ, M., 2015. *Comptonův jev*. [online]. [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/kvanta/comptonuv-jev>

Vlnové vlastnosti částic

Dualistickým charakterem se také zabýval Louis de Broglie, který vyslovil hypotézu, že všechny látkové částice, nejen fotony, mají částicové a vlnové vlastnosti. Vlnové vlastnosti látkové částice lze popsat pomocí frekvence f a vlnové délky λ .

Z de Broglieho hypotézy vyplývá vztah pro vlnovou délku λ (Lank et al., 2007):

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

kde h je Planckova konstanta a p je hybnost

Kvantová mechanika

Zabývá se popisem částic mikrosvěta. Používá jiné veličiny než klasická mechanika. Místo veličin poloha a hybnost pro popis stavu aplikuje vlnovou funkci Ψ , uplatňuje Heisenbergův princip neurčitosti a hodnoty dílčích veličin jsou v určitých dávkách – kvantech.:

- **Vlnová funkce** – zjednodušeně lze říci, že se jedná o prostorový element, ve kterém se částice nachází. Poloha částice je popsána souřadnicemi (x, y, z) .
- **Heisenbergův princip neurčitosti** – U částice mikrosvěta nelze současně přesně určit její polohu a hybnost. (Chasák et al., 2017)

Relativistická fyzika

Před vznikem relativistické fyziky platily zákony klasické mechaniky, které říkaly, že vše je absolutní (čas, délka, rychlost, hmotnost). Například čas plyne ve všech soustavách stejně, i když je nějaká soustava v pohybu. To vše vyvrátil Einstein ve své speciální teorii relativity, kde tvrdil, že vše je relativní.:

- čas neplyne všude rovnoměrně
- události nejsou vždy současné
- během pohybu se délka zmenšuje
- rychlost nikdy není vyšší než rychlost světla
- hmotnost tělesa se zvětšuje, pokud se zrychluje pohyb (Chasák et al., 2017)

Principy speciální teorie relativity:

- 1) princip stálosti rychlosti světla – světlo se pohybuje ve všech směrech pohybu stejnou rychlostí bez ohledu na to, v jaké inerciální soustavě se nachází.
- 2) princip relativity – říká, že fyzikální zákony jsou stejné ve všech inerciálních vztažných soustavách. Tím pádem není možné v jedné soustavě určit, zda k vůči druhé vykonává rovnoměrný přímočarý pohyb. Všechny inerciální vztažné soustavy jsou rovnoměrné. (Chasák et al., 2017)

Relativistická kinematika

Zabývá se popisem pohybu v inerciálních vztažných soustavách.

Dilatace času

Jedná se o relativistické zpomalení chodu hodin, které jsou vzhledem k pozorovateli v pohybu. Zjednodušeně lze říci, že hodiny, pohybující se vůči pozorovateli, jdou pomaleji než hodiny, které jsou v klidu vzhledem k pozorovateli. Dilatace času hodin, které jsou vůči pozorovateli v pohybu lze vyjádřit vzorcem: (Lank et al., 2007)

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

kde Δt_0 je časový segment na hodinách, které jsou v klidu, Δt časový segment na hodinách, které se pohybují, v je rychlost pohybu a c rychlost světla

Příklad vlivu dilatace času v kosmické raketě:

- máme pozorovatele 1, který drží hodiny a okolo něj letí raketa, v níž jsou hodiny → pozorovatel 2 v raketě má pocit, že on je v klidu a pozorovatel 1 se pohybuje
 - pozorovatel 2 vnímá, že čas jde pomaleji pozorovateli 1 → pozorovatel 1 se zdá, že čas jde pomaleji v raketě
- pravdu mají oba pozorovatelé, jelikož dilatace času je závislá na výběru vztažné soustavy. Dilatace času se projeví pouze, pokud rychlost v pohybujících se hodin bude blízká rychlosti světla. (Chasák et al., 2017)

Kontrakce délek

Během pohybu dochází k relativistickému zkrácení délky, které je však pozorovatelné pouze ve směru pohybu. Délku pohybující se tyče l vyjadřuje následující vzorec:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

kde l_0 je délka tyče na začátku, c je rychlost světla a v je rychlost pohybu. (Lank et al., 2007)

Relativistické skládání rychlostí

Představme si, že raketa se pohybuje vzhledem k pozorovateli a v raketě bude vystřelena částice. Celková rychlost u nemůže být vypočítána ze vztahu $u=v+c$ (v je rychlost rakety a c rychlost náboje), jelikož výsledkem by byla nadsvětelná rychlost. V tomto případě musí být použit vzorec pro relativistické skládání rychlostí:

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

kde u je celková rychlost, u' je rychlost částice, v je rychlost rakety a c je rychlost světla. Tento vzorec platí pouze v případě, že vektory rychlosti jsou rovnoběžné. (Chasák et al., 2017)

Relativistická dynamika

Relativistická hmotnost

Hmotnost pohybujícího se tělesa se zvětšuje podle vzorce:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

kde m_0 je klidová hmotnost tělesa a m je hmotnost stejného tělesa, které se ale pohybuje v inerciální vztažné soustavě rychlostí v . (Lank et al., 2007)

Relativistická hybnost

Ve speciální teorii relativity je hybnost zapsaná ve vztahu: (Lank et al., 2007)

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Relativistická energie

Energie tělesa, které se pohybuje v dané inerciální soustavě rychlostí \vec{v} , je vyjádřena vztahem: (Lank et al., 2007)

$$E = m * c^2$$

Využití speciální teorie relativity: jaderná energetika, GPS, staré televizní obrazovky, atd.

Speciální teorie relativity má však podstatné trhliny, jelikož ji lze aplikovat pouze na inerciální soustavy, pohybující se navzájem přímočaře a rovnoměrně, bez jakéhokoliv otáčení, zrychlení a účinku gravitačních sil. Z těchto důvodů Einstein sepsal Obecnou teorii relativity. (Ullmann, 1986)

Edukační test

- 1) Co zkoumá kvantová fyzika?
 - a) Fyzikální principy megasvěta
 - b) Fyzikální principy makrosvěta
 - c) Fyzikální principy mikrosvěta
 - d) Ani z jedna odpovědi není správná

- 2) Co je to vlnově korpuskulární dualismus?
 - a) Objekt (elektron, foton,...) má pouze vlnové vlastnosti
 - b) Objekt (elektron, foton,...) má pouze částicové vlastnosti
 - c) Objekt (elektron, foton,...) má vlnové i částicové vlastnosti
 - d) Objekt (elektron, foton,...) nemá vlnové ani částicové vlastnosti

- 3) Při fotoelektrickém jevu, jenž je jeden ze příkladu vlnově korpuskulárního dualismu, je emitován (vyzářen)?
 - a) Proton
 - b) Neutron
 - c) Elektron
 - d) Foton

- 4) Jak se projevuje vlnová vlastnost fotonu?
 - a) Foton má jak vlnovou délku a frekvenci, tak i hmotnost a hybnost
 - b) Foton má vlnovou délku a frekvenci
 - c) Foton má hmotnost a hybnost
 - d) Žádná z odpovědí není správná

- 5) Jak se projevuje korpuskulární vlastnost fotonu?
 - a) Foton má jak vlnovou délku a frekvenci, tak i hmotnost a hybnost
 - b) Foton má vlnovou délku a frekvenci
 - c) Foton má hmotnost a hybnost
 - d) Žádná z odpovědí není správná

- 6) Co především zkoumá relativistická fyzika?
 - a) Hydrodynamické fyzikální jevy
 - b) Fyzikální jevy probíhají při malých rychlostech
 - c) Studuje pohyb tělesa po kružnici
 - d) Fyzikální jevy probíhají při velmi vysokých rychlostech

- 7) Jak se změní hmotnost tělesa pohybujícího se velmi vysokou rychlostí (až rychlostí světla)?
 - a) Hmotnost se zvýší
 - b) Hmotnost se sníží
 - c) Hmotnost se nezmění
 - d) Nedá se změřit

- 8) Jak se mění čas pozorovatele cestujícího v kosmické raketě velmi vysokou rychlostí vůči pozorovateli na Zemi?
 - a) Čas ubíhá rychleji
 - b) Čas ubíhá pomaleji

- c) Čas ubíhá pro oba pozorovatele stejně rychle
 - d) Nedá se změřit
- 9) Jak se změní délka tělesa pohybujícího se velmi vysokou rychlostí ve vesmíru vzhledem ke stojícímu pozorovateli na Zemi?
- a) Délka se zvětší
 - b) Délka se zmenší
 - c) Délka se nezmění
 - d) Nelze změřit
- 10) Který vzorec charakterizuje závislost energie na hmotnosti?
- a) $E=m \cdot c$
 - b) $E=m \cdot c^2$
 - c) $E=m \cdot v^2$
 - d) $E=m \cdot v$
- 11) Jaký je rozdíl mezi speciální a obecnou teorií relativity?
- a) Žádný
 - b) U obecné teorie relativity můžeme zanedbat vliv gravitace, naopak speciální ji zahrnuje
 - c) U speciální teorie relativity můžeme zanedbat vliv gravitace, naopak obecná ji zahrnuje
 - d) Obě jsou zcela odlišné a popisují úplně odlišné fyzikální jevy
- 12) Která technologie využívá poznatků ze speciální teorie relativity?
- a) Internet
 - b) Přehrávač DVD
 - c) GPS
 - d) Žádný
- 13) Při pozorování blesku registruje pozorovatel?
- a) Elektrony
 - b) Molekuly vzduchu
 - c) Fotony
 - d) Hořící kyslík
- 14) Během jaderných havárií při účincích gama radioaktivity působí?
- a) Elektrony
 - b) Molekuly vzduchu
 - c) Fotony
 - d) Hořící kyslík