



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Studies

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

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

bakalářská práce

Teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty

Vypracoval: Ing. Lucie Pešková
Vedoucí práce: doc. RNDr. Přemysl Záškodný, CSc.

České Budějovice 2016

Abstrakt

V současné době není volně k dispozici jednoduchý edukační text na téma teorie elektromagnetického pole, který by byl přiměřený znalostem studentů studijního oboru radiologický asistent a dalších příbuzných oborů. Dostupné vzdělávací materiály jsou spíše přepisem vědeckých poznatků a vyžadují od vyučujícího vlastní přípravu, aby přednášená látka byla studenty správně a současně ve stanovené vyučovací době dobře pochopena.

Tato práce si tak vytyčila následující cíle:

- vytvořit očekávané, projektové a implementované kurikulum v oblasti teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty,
- verifikaci přiměřenosti projektového kurikula pomocí experimentální výuky a statistické vyhodnocení výsledků verifikace dotazníkovým šetřením.

Bakalářská práce v první části přináší popis teorie kurikulárního procesu. Vysvětluje pojem kurikula, který původně v pedagogice vyjadřoval pouze učivo, později se význam slova rozšiřoval a měnil. V pojetí této bakalářské práci kurikulum zahrnuje:

- vzdělávací koncepci, zahrnující popis řešené problematiky (teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty),
- zpracování vhodného edukačního textu, který studentům vhodným a jednoduchým způsobem teorii přiblíží (prezentace a materiál k výuce),
- experimentální výuku studentů oboru radiologický asistent na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích (text byl také zaslán na další vybrané vysoké školy s akreditovaným vzdělávacím oborem radiologický asistent),
- vyhodnocení vzdělávací koncepce v oblasti vybrané teorie, a to metodou kvantitativního výzkumu (statistické vyhodnocení výsledků).

Teorie kurikulárního procesu spojuje kurikulární proces fyziky (přírodní vědy) s transformacemi v didaktické (edukační) komunikaci fyziky (přírodní vědy). Zjednodušeně lze toto spojení popsat následujícími transformacemi T^1 až T^5 - od

vědeckého systému po vhodný výukový materiál prostřednictvím sdělitelného „laického“ vysvětlení zkoumaného jevu:

Transformace T¹ – „konceptuální kurikulum“

Vědecký systém fyziky → Sdělitelný vědecký systém fyziky

Transformace T² – „zamýšlené kurikulum“

Sdělitelný vědecký systém → Didaktický (edukační) systém

Transformace T³ – „projektové kurikulum“ a „implementované kurikulum-1“

Didaktický (edukační) systém → Výukový projekt (výukový text, příprava k výuce, PowePointová prezentace)

Transformace T⁴ – „implementované kurikulum-2“

Výukový projekt → Výsledky výuky

Transformace T⁵ – „dosažené kurikulum“

Výsledky výuky → Aplikovatelné výsledky výuky [1]

V další části bakalářské práce jsou analyzovány dostupné informace k teorii elektromagnetického pole s vazbou na znalosti potřebné pro radiologické asistenty (transformace T¹). Úvodem tohoto oddílu jsou zmíněny i základní veličiny používané v teorii elektromagnetického pole a jejich jednotky, se kterými by měli být studenti seznámeni v předchozím studiu.

Výše uvedené poznatky z oblasti teorie elektromagnetického pole byly zpracovány do edukačního testu pro experimentální výuku. K ověření druhého cíle - verifikace přiměřenosti projektového kurikula byl vytvořen test s 22 otázkami, vždy s jednou správnou odpovědí. Vyhodnocení bylo následně statisticky vyhodnoceno (kvantitativní výzkum).

Východiskem pro kvantitativní výzkum je výchozí hypotéza. Na základě v úvodu vytyčených cílů bylo možné stanovit následující hypotézy:

Hypotéza první: Aplikací teorie kurikulárního procesu lze zpracovat teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty.

Hypotéza druhá: Znalosti radiologických asistentů z oblasti teorie elektromagnetického pole mají rozdělení blízké normálnímu rozdělení (Gaussova funkce).

Na základě neparametrického testování bylo zjištěno, že znalosti studentů neodpovídají zcela Gaussově distribuci (odlišnost kritické hodnoty normality od zjištěné hodnoty experimentální není ovšem příliš velký). Hypotézu druhou, na hladině významnosti 5 %, by bylo možné přijmout s určitou tolerancí. Hypotézu první lze potvrdit, neboť edukační text pro teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty (viz Příloha 2) byl zpracován. Nebyl zcela přiměřený potřebám a možnostem radiologických asistentů, výsledek testování rozdělení znalostí studentů odpovídal normálnímu rozdělení jen přibližně (Test znalostí je uveden v Příloze 3).

Praktickým přínosem bakalářské práce je vypracovaný edukační text s PowerPointovou prezentací, které lze s výhodou využít pro výuku teorie elektromagnetického pole. Po vyhodnocení výsledků jednotlivých otázek pak lze pozornost při výuce teorie zaměřit na rozdíly mezi pohybovým zákonem a pohybovou rovnicí. Dále také na teorii zřídels a vířů elektromagnetického pole, která studentům pomůže lépe určit, který soubor Maxwellových rovnic popisuje který stav elektromagnetického pole. Teoretickým přínosem bakalářské práce je promítnutí teorie kurikulárního procesu na oblast teoretických základů elektromagnetického pole v rámci edukace radiologických asistentů a případných dalších zájemců o radiologii.

Klíčová slova: teorie elektromagnetického pole, Maxwellovy rovnice, elektromagnetické vlnění, kurikulární proces, kvantitativní výzkum, konceptuální kurikulum, projektové kurikulum, implementované kurikulum

Abstract

Currently is not freely available any simple educational text on the topic of the theory of electromagnetic field, which would be adequate to the student's knowledge of the Radiology assistants subject and further related subjects. The accessible education materials are rather the transcription of the scientific findings and require the tutor's personal preparation, so that the presented topic is correctly and at the same time in the given teaching time is well understood by the students.

This work defines the following goals:

- to create the expected, project and implement curriculum in the area of the electromagnetic field for radiology assistants,
- the verification of the adequacy of the project's curriculum with the help of the experimental education and the statistical result's evaluation of the verification with the questionnaire survey.

In the first part the bachelor's work brings the description of the theory of the curricular process. It explains the curriculum term, which originally in the pedagogy comments only the schoolwork, lately the meaning of the word changed and extended.

In the conception of this bachelor's work the curriculum covers:

- the educational concept, including the description of the issues solving (the theory of the electromagnetic field for the radiology assistants),
- the processing of the suitable educational text, which with the convenient and simple way approaches the theory to students (the presentation and the teaching material),
- the experimental teaching in the field of the radiology assistant at Jihočeská university in České Budějovice (the text was sent to other selected universities with the accredited educational field the radiology assistant),
- the evaluation of the educational concept in the area of the chosen theory with the method of quantitative research (statistical evaluation of the outcomes).

The theory of the curricular process connects the physics curricular process (natural science) with the transformations in the didactic (educational) communication of the physics (natural science). Simply it is possible to describe these connections with the

following transformations T^1 až T^5 – from the scientific system to the suitable educational material via the communicable „laic“ explanation of the researched effect:

Transformation T^1 – „conceptional curriculum“

Scientific system of physics → Communicable scientific system of physics

Transformation T^2 – „thoughtful curriculum“

Communicable scientific system → Didactic (educational) system

Transformation T^3 – „project curriculum“ and „implemented curriculum-1“

Didactic (educational) system → Teaching project (teaching text, teaching preparation)

Transformation T^4 – „implemented curriculum-2“

Teaching project → Teaching outcomes

Transformation T^5 – „achieved curriculum“

Teaching outcomes → Applied teaching outcomes [1]

In the next part of the bachelor's work are analysed the accessible information to the theory of the electromagnetic field with the connection to the knowledge necessary for the radiology assistants (transformation T^1). By way of introduction of this unit are mentioned as well the basic quantities used in the theory of the electromagnetic field and their units, which the students should get to know in the previous study.

The above mentioned findings from the area of the electromagnetic field theory were processed to the educational test for experimental teaching. To certify the second target – verification of the suitability of the project curriculum, was created a test with 20 questions, each time with one correct answer. The result was evaluated statistically (quantitative research) afterwards.

The solution for the quantitative research is the initial theory. On the ground of the set targets it was possible to define the following theories:

First theory: With the application of the curricular process theory is possible to adapt the theory of electromagnetic field for radiology assistants.

Second theory: The knowledge of radiology assistants from the area of electromagnetic field theory has division close to the normal division (Gaussova function).

On the grounds of the unparametric testing was found out that the student's knowledge is not responsible fully to Gaussov's distribution (the difference of the critical normality value is not so big from the discovered experimental values). Second theory, on the surface of importance 5 % is possible to accept with some tolerancy. First theory is possible to confirm, because the educational text was adapted for the theory of electromagnetic field for radiology assistants (see Appendix 2). But it was not fully adequate to the needs and possibilities of radiology assistants so, that the testing outcome of the dividing of student's knowledge responded to the normal dividing only roughly (The knowledge test is in Appendix 3).

The practical contribution of the bachelor's work is the made educational text with the PowerPoint presentation, which is possible to use for the teaching of the theory of electromagnetic field. After the outcome's evaluation of the individual questions is then possible to focus the attention in the theory teaching to differencies between the movement principle and the movement equation. Farther on the theory of spring and swirls of the electromagnetic field, which help students to define, which package of Maxwell's equations describes which state of the electromagnetic field. The theoretical contibution of the bachelor's work is the excuse of the theory of curricular process on the area of the theoretical basis of the electromagnetic field under the therms of education of radiology assistents and next potential applicants of radiology.

Keywords: electromagnetic field theory, Maxwell's equations, electromagnetic waves, curricular process, quantitative research, conceptual curriculum, projected curriculum, implemented curriculum

Prohlášení

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

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

V Českých Budějovicích dne 18. 4. 2016

.....

Lucie Pešková

Poděkování

Děkuji panu doc. RNDr. Přemyslu Záškodnému, CSc. za odborné vedení bakalářské práce, za jeho cenné rady při zpracování této bakalářské práce a pomoc při realizaci průzkumného šetření. Mé díky patří i všem respondentům, kteří se podíleli na empirickém šetření.

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod | 12 |
| 1 Teoretická část | 14 |
| 1.1 Metoda kurikulárního procesu | 14 |
| 1.1.1 Význam slova kurikulum | 14 |
| 1.1.2 Dělení kurikula | 15 |
| 1.1.3 Metoda kurikulárního procesu v teorii elektromagnetického pole | 16 |
| 1.2 Teorie elektromagnetického pole..... | 17 |
| 1.2.1 Důvod studia teorie elektromagnetického pole studenty radiologie . | 19 |
| 1.2.2 Předmět zkoumání elektromagnetického pole..... | 20 |
| 1.2.3 Hmotný bod – analogie bodového náboje | 24 |
| 1.2.4 Základní pojmy z analytické mechaniky | 26 |
| 1.2.5 Operátor nabla, operace s vektory (zřídla, víry)..... | 28 |
| 1.2.6 Základní pojmy teorie elektromagnetického pole | 32 |
| 1.2.7 Maxwellovy rovnice elektromagnetického pole | 35 |
| 1.2.8 Klasifikace elektromagnetického pole | 38 |
| 1.2.9 Maxwellovy rovnice pro různé stavy elektromagnetického pole | 39 |
| 1.3 Statistika..... | 40 |
| 1.3.1 Statistické zpracování výsledků - teorie | 41 |
| 1.3.2 Statistické šetření – praktické výsledky testování | 46 |
| 2 Hypotézy a metodiky výzkumu | 55 |
| 2.1 Stanovení cílů a hypotéz | 55 |
| 2.2 Metodika výzkumu | 55 |
| 3 Výsledky | 58 |
| 4 Diskuze..... | 61 |
| 5 Závěr | 64 |
| 6 Seznam informačních zdrojů..... | 66 |
| 7 Seznam obrázků a grafů | 70 |

| | | |
|-----|----------------------|----|
| 8 | Seznam tabulek | 71 |
| 9 | Přílohy | 72 |
| 9.1 | Příloha 1 | 72 |
| 9.2 | Příloha 2 | 73 |
| 9.3 | Příloha 3 | 84 |

Úvod

V současné době není volně k dispozici jednoduchý edukační text na téma teorie elektromagnetického pole, který by byl přiměřený znalostem studentů studijního oboru radiologický asistent a dalších příbuzných oborů. Dostupné vzdělávací materiály jsou spíše přepisem vědeckých poznatků a vyžadují od vyučujícího vlastní přípravu, aby přednášená látka byla studenty správně pochopena.

Tato práce si tak vytyčila cíl vytvořit očekávané, projektové a implementované kurikulum v oblasti teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty a následně verifikovat přiměřenost projektového kurikula pomocí experimentální výuky a statisticky vyhodnotit výsledky verifikace dotazníkovým šetřením.

Základem práce bylo uvědomění si, že je nutné propojit vědecký systém popisovaného fyzikálního jevu s praktickým životem prostřednictvím vhodného edukačního materiálu.

V teoretické části bakalářské práce je blíže vysvětlena teorie kurikulárního procesu s aplikací na fyzikální znalosti radiologických asistentů (respektive studentů tohoto oboru, i oborů příbuzných) jako jedna z možností přepisu vědeckých poznatků do textu vhodného pro nevědeckou část populace. Poznátky z teorie elektromagnetického pole, jako klasického a nestatisticky pojatého fyzikálního objektu, jsou popsány dále. Z takto popsané teorie byl zpracován edukační text (viz Příloha 2), který je hlavním cílem zpracovávané bakalářské práce.

Výzkum v rámci bakalářské práce bude mít charakter aplikovaného kvantitativního výzkumu. Východiskem pro kvantitativní výzkum (na rozdíl od výzkumu kvalitativního) jsou výchozí teorie (teorie kurikulárního procesu, teorie elektromagnetického pole) a na ně navazující výchozí hypotézy předložené v operacionalizované podobě. Na základě vytyčených cílů

- vytvořit očekávané, projektové a implementované kurikulum v oblasti teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty,
- verifikovat přiměřenost projektového kurikula pomocí experimentální výuky a statistické vyhodnocení výsledků verifikace dotazníkovým šetřením

bylo možné pro explanaci stanovit následující hypotézy:

Hypotéza první: Aplikací teorie kurikulárního procesu lze zpracovat teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty.

Hypotéza druhá: Znalosti radiologických asistentů z oblasti teorie elektromagnetického pole mají rozdělení blízké normálnímu rozdělení (Gaussova funkce).

1 Teoretická část

1.1 Metoda kurikulárního procesu

1.1.1 Význam slova kurikulum

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

V pedagogice vyjadřoval tento termín původně pouze učivo, později se jeho význam rozšiřoval a měnil. V současnosti se uvádí více než stovka definic kurikula, které se vztahují k různým vzdělávacím koncepcím a jednotlivým výkladům autorů.

Pro příklad uvádím:

- Kurikulum je program života školy (Rugg, 1974).
- Kurikulum zahrnuje učivo, vztahy učitele a žáků a prostředí (Westburg – Steiner, 1971).
- Kurikulum je plánovaná a řízená učební zkušenost (Tanner, D. – Tanner, L., 1975).

Z výše uvedeného vyplývá, že kurikulum představuje nejčastěji: vzdělávací program, obsah vzdělávání (co máme žáky naučit), vztahy ve vzdělávání, prostředí pro vzdělávání, jeho průběh a výsledky.

V české pedagogice se pojem kurikulum začal výrazněji používat v 80. letech minulého století. Průcha definuje kurikulum v *Moderní pedagogice* (2005) jako „obsah vzdělávání, který zahrnuje veškeré zkušenosti, které žáci získávají ve škole a v činnostech ke škole se vztahujících, zejména jejich plánování, zprostředkovávání a hodnocení“. [2]

Kurikulum lze chápat jako „obsah vzdělávání (učivo) v širším slova smyslu a proces jeho osvojování, tj. jako veškerou zkušenost žáka (učícího se), kterou získává ve školském (vzdělávacím) prostředí, a činnosti, které jsou spojeny s jeho osvojováním a hodnocením“. [3]

Kurikulum nelze chápat jako neměnné vymezení vzdělávání, ale jako vyvíjející a obměňující se proces ve shodě s potřebami a hodnotami společnosti a s potřebami žáků. Jedná se o živý dokument, který se mění především na základě zkušeností s jeho realizací v praxi. Kurikulum bylo vždy předmětem výzkumu, který má ve školství dlouholetou tradici. V současné době probíhají výzkumy zaměřené na ověření kvality výuky podle nových kurikulárních dokumentů a monitorování potřeb učitelů. [2]

Z posledního odstavce lze usuzovat, že výukový text teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty, zpracovaný v této bakalářské práci, může v budoucnu být několikrát přepracován. Zcela jistě v návaznosti na případné nové poznatky fyziky, využitě pro oblast diagnostické i terapeutické radiodiagnostiky, ale také v souvislosti se statistickými výsledky verifikace znalostí studentů. Statistické šetření nám tak podá důležitou informaci o úspěšném ukončení kurikulárního procesu v této oblasti.

1.1.2 Dělení kurikula

Obecně lze kurikulum dělit následovně:

- **Konceptuální kurikulum** – sdílitelný vědecký systém. Koncepce (hlavní záměr, myšlenka, způsob), co má být sděleno.
- **Zamýšlené kurikulum** – to, co je ve vzdělávací soustavě plánováno, jakožto cíle a obsah vzdělání. Didaktický systém. Definování učební osnovy, učebnic.
- **Projektové kurikulum** – tvorba edukačního textu.
- **Implementované kurikulum -1** – přímá souvislost s projektovým kurikulem; příprava učitele k výuce; příprava výukových materiálů z edukačního textu (například PowerPointová prezentace).
- **Implementované kurikulum – 2** – realizované kurikula; kontrola výsledků implementovaného kurikula - 1 (zda bylo učivo studenty pochopeno; například ústní zkoušení, písemné testy znalostí).

- **Dosažené kurikulum** – obsahuje učivo, které si žáci skutečně osvojili. To jsou především znalosti žáků v příslušných předmětech. Aplikovatelné výsledky, trvalá použitelnost osvojených výsledků i v mimoškolním životě.
- **Formální kurikulum** – komplexní projekt cílů, obsahu, prostředků a organizace vzdělávání a realizace projektového kurikula ve vzdělávacím procesu (ve výuce) a způsoby kontroly a hodnocení výsledků vzdělávacího procesu (výuky).
- **Neformální kurikulum** – zahrnuje aktivity a zkušenosti vztahující se ke škole a domácí studium, úkoly, přípravu žáků na vyučování. [1, 2, 3, 4]

1.1.3 Metoda kurikulárního procesu v teorii elektromagnetického pole

Spojení kurikulárního procesu fyziky (přírodní vědy) s transformacemi v didaktické (edukační) komunikaci fyziky (přírodní vědy) lze popsat následujícím schématem (transformacemi T^1 až T^5 od vědeckého systému po vhodný výukový materiál prostřednictvím sdělitelného „laického“ vysvětlení zkoumaného jevu – teorie elektromagnetického pole):

- **Transformace T^1** Vstup: Vědecký systém fyziky (teorie elektromagnetického pole, dále jen „elmag. pole“) → Výstup: Sdělitelný vědecký systém fyziky (teorie elmag. pole) jako „**konceptuální kurikulum**“. Záměrem a stanoveným cílem je vytvořit vhodný vzdělávací text pro výuku teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty.
- **Transformace T^2** Vstup: Sdělitelný vědecký systém teorie elmag. pole jako konceptuální kurikulum → Výstup: Didaktický (edukační) systém teorie elmag. pole a jeho učivo jako „**zamýšlené kurikulum**“. V tomto kroku bude popsána teorie elektromagnetického pole obecně; shrnuty veškeré poznatky z této oblasti. V bakalářské práci kapitola 1.2.
- **Transformace T^3** Vstup: Didaktický (edukační) systém teorie elmag. pole a jeho učivo jako zamýšlené kurikulum → Výstup: Výukový projekt teorie elmag. pole a jeho učebnice a připravenost učitele na výuku jako „**projektové**“

kurikulum“ a **„implementované kurikulum-1“**. Cílem je vytvořit z výše popsaných poznatků teorie vhodný edukační text a zároveň podklad pro výuku učitelem – PowerPointovou prezentací. Dále vytvoření testu pro verifikaci znalostí studentů. Příloha 2 a Příloha 3 bakalářské práce a PowerPointová prezentace na přiloženém CD ROM.

- **Transformace T⁴** Vstup: Výukový projekt teorie elmag. pole a jeho učebnice a připravenost učitele na výuku jako projektové kurikulum a implementované kurikulum-1 → Výstup: Výsledky výuky teorie elmag. pole jako **„implementované kurikulum-2“**. Předložení zpracovaného testu studentům a následné statistické vyhodnocení jejich znalostí. Statistické šetření – kapitola 3 – teorie, kapitola 4 – konkrétní statistické šetření.
- **Transformace T⁵** Vstup: Výsledky výuky teorie elmag. pole jako implementované kurikulum-2 → Výstup: Aplikovatelné výsledky výuky teorie elmag. pole jako **„dosažené kurikulum“**. Závěrečné celkové vyhodnocení statistických výsledků s konstatováním dosažení správnosti v bakalářské práci stanovených hypotéz. Závěr bakalářské práce – kapitola 5. [1, 4]

1.2 Teorie elektromagnetického pole

Teorie je soustava znalostí obsahující vzájemně související konstrukty (myšlenky), definice a výroky, která specifikuje vztahy mezi proměnnými a představuje systematický pohled na jevy s možností předpovědět další jevy v dané významné oblasti znalostí. Teorie je základním cílem vědy, definice teorie umožňuje tento cíl členit na dílčí cíle – vysvětlení vztahů mezi proměnnými, porozumění struktuře soustavy znalostí jako vztahové spjatosti proměnných, předpověď z jistých proměnných na určité jiné proměnné, kontrola charakterizující míru spolehlivosti vyvěrající z predikce. [1]

Teorie elektromagnetického pole (vedle statistické fyziky) představuje vyvrcholení klasické fyziky. Tato teorie měla bezesporu zásadní podíl na vzniku tzv. moderní fyziky (a to jak pokud jde o relativitu, tak i v případě teorie kvantové). [5]

Průkopníkem představy o elektromagnetickém poli jako nositeli a zprostředkovateli elektromagnetických interakcí byl Michael Faraday (1791-1867). Zdrojem nových poznatků o elektřině a magnetismu byly jeho experimenty (v roce 1831 objevil zákon elektromagnetické indukce - při pokusu s magnetem, který při pohybu směrem k nebo od stočeného drátu způsobí, že jím začne téci elektrický proud). Hlubavý duch Faradayův se nespokojil s odhalováním zákonitosti jevů, ale snažil se vysvětlit jejich fyzikální podstatu. Za jednu z největších ve fyzice se považuje jeho revoluční myšlenka, že nestačí zkoumat samotné elektrické náboje, magnety, proudovodiče apod., ale je nutno zkoumat i vlastnosti jisté hypotetické látky – nazývala se „éterem“ – která vyplňuje jejich okolní prostor (k elektromagnetické indukci by nemohlo dojít, pokud by prostor mezi dvěma objekty byl prázdný). Na rozdíl od newtonovské představy, že tyto objekty na sebe působí „do dálky“, se podle Faradayovy představy jejich vzájemné působení děje prostřednictvím tohoto „éteru“ a to konečnou rychlostí; hovoříme o působení „do blízka“. Označení éter bylo později nahrazeno výstižnějším názvem „elektromagnetické pole“. [5, 6, 8, 9]

Faraday ke svým poznatkům dospěl geniálními experimenty, ale vzhledem k tomu, že nebyl matematicky vzdělán, vyjadřoval své objevy výhradně verbálně. Soustavu rovnic elektromagnetického pole zformuloval skotský fyzik James Clerk Maxwell (1831-1879), jenž v mnoha směrech zobecnil a matematicky formuloval Faradayovy výsledky a představy o silových trubcích. Ve dvoudílném spise *A Treatise on Electricity and Magnetism* formuloval ucelený matematický model vyjadřující časově-prostorové zákony pro všechny do té doby (1873) zjištěné elektrické a magnetické jevy. Maxwell sám odvodil nejdůležitější důsledek svých rovnic: ukázal, že elektromagnetický rozruch se nejenom šíří od místa k místu, ale že se šíří konečnou rychlostí rovnou rychlosti světla. Tím byla předpověděna existence elektromagnetických vln, což roku 1887 potvrdil svými slavnými experimenty Heinrich Hertz (1857-1894). Široké přijetí Maxwellovy teorie způsobilo zásadní posun našeho poznání fyzikální reality. V této teorii jsou elektromagnetická pole zprostředkovateli interakce mezi hmotnými objekty. [5, 6, 10]

Od poznatků, že elektromagnetický rozruch se šíří rychlostí světla byl pouze krůček k tomu, aby optické jevy byly pochopeny (interpretovány) jako speciální případ jevů elektromagnetických. Počátkem 20. století objevil holandský fyzik Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), že rovnice elektromagnetického pole jsou invariantní (neměnné) vůči jisté transformaci souřadnic a času, kterou dnes nazýváme Lorentzovou transformací. [5]

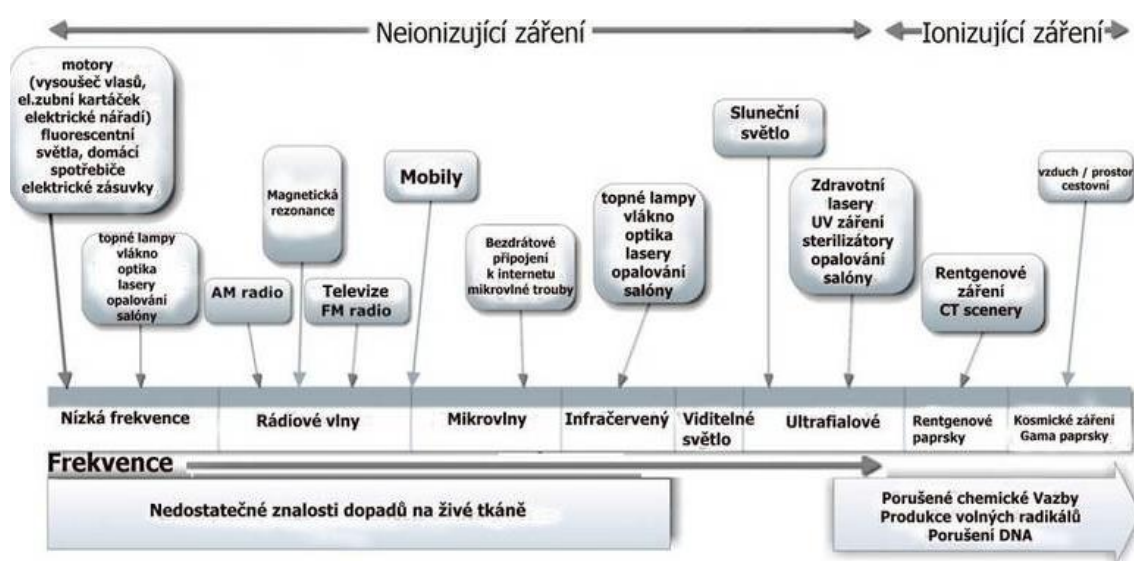
Maxwellova teorie elektromagnetického pole je fenomenologická a makroskopická, neboť je založena na pozorovatelných makroskopických jevech (fenoménech; respektive Maxwell odvodil své teoretické rovnice z praktických pozorování Faradaye). Pro elektromagnetická pole v mikroskopických (atomárních) měřítkách prohloubil Maxwellovu teorii H. A. Lorentz (později jeho mikroskopickou – elektronovou - teorii elektromagnetického pole vystřídala kvantová elektrodynamika). Klasická Maxwellova teorie má ještě další omezení: platí jen pro látková prostředí v klidu. Lze ji snadno zobecnit na pohybující se systémy, ale pro nerelativistické rychlosti. Na základě speciální teorie relativity formulované v r. 1905 Albertem Einsteinem byla počátkem 20. století vybudována teorie elektromagnetického pole i pro soustavy, které se pohybují relativistickými rychlostmi – relativistická elektrodynamika. [6]

1.2.1 Důvod studia teorie elektromagnetického pole studenty radiologie

Absolvent studia radiologie by měl mít ve svém profilu dvě základní složky: radiodiagnostiku a radioterapii. Tyto dvě složky by v podrobnějším členění měly nalézt odezvu v nukleární medicíně, v klasické radiografii, v termografii, v magnetické rezonanci a v sonografii. [10] Společným jmenovatelem fyzikální podstaty radiologie je teorie elektromagnetického pole. Přehled ionizujících a neionizujících záření a vlnění používaných v radiologii je uveden jako Příloha 1 této bakalářské práce.

Pro nefyzikální laický pohled si elektromagnetické pole můžeme přiblížit Obrázkem 1, kde je spektrum záření a vlnění v elektromagnetickém poli doplněno o komodity, které nás obklopují a lze si je dobře představit. Z výše uvedeného je

zřejmé, že elektromagnetické pole nás obklopuje a odborníci, kterými radiologové jsou, by měli znát jeho základní principy a fungování. Veškeré přístrojové vybavení na oddělení radiologie a radiodiagnostiky (ultrazvuky, lineární urychlovače, magnetické rezonance, počítačové tomografy, rentgenové přístroje) svojí funkcí vytváří elektromagnetické pole, které jako důsledek jaderných přeměn vzniká i v nukleární medicíně (vyzařování elektromagnetického záření). [10]



Obrázek 1: Spektrum elektromagnetického pole

zdroj: NOVÁK Ivo. *Účinky elektromagnetického pole na lidský organismus* [on line]. [cit. 2015-11-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1801-elektromagneticke-pole-a-zdravotni-rizika-i>

1.2.2 Předmět zkoumání elektromagnetického pole

Fyzika zkoumá na základě vzájemného působení látek a polí stavy u statisticky a nestatisticky pojatých fyzikálních objektů a změny těchto stavů. Kritériem pro rozlišení statistického a nestatistického přístupu je počet zkoumaných objektů. [10]

Nestatistická fyzika zkoumá jeden fyzikální objekt nebo soustavu několika fyzikálních objektů. Na základě experimentálních zkušeností získaných experimentální fyzikou vychází z aplikace pojmů především diferenciálního, integrálního, variačního a operátorového počtu na zkoumání pohybových stavů a jejich změn u objektů

makrosvěta (obecně převážně objekty pozorovatelné smysly nebo optickými dalekohledy), mikrosvěta (přístupny pozorováním elektronovými a iontovými dalekohledy) a megasvěta (pozorování nejsilnějšími optickými dalekohledy nebo experimentálně dokázány). Nestatistická fyzika si zavádí pojem pohybové rovnice jako vyjádření příčin pohybu a kinematický pojem pohybového zákona jako popisu pohybového stavu. [10]

Statistická fyzika se zabývá zkoumáním fyzikálního objektu složeného z obrovského počtu dílčích fyzikálních objektů nebo přímo obrovský počet dílčích fyzikálních objektů. Základem jsou experimentální zkušenosti získané experimentální fyzikou; vychází z aplikace pojmů matematické statistiky a počtu pravděpodobnosti na zkoumání termodynamických stavů a jejich změn u makrosystémů. [10]

Statistická i nestatistická fyzika mají svou variantu klasickou, kvantovou (je uplatňován vlnově korpuskulární dualismus) a relativistickou (prostor a čas závisí na rozložení a pohybu fyzikálních objektů). Kvantová i relativistická dimenze neumožňují na rozdíl od dimenze klasické „přímé“ pozorování zkoumaných fyzikálních objektů. Jejich existenci lze většinou dokázat nepřímými experimentálními metodami („nepřímým“ pozorováním zprostředkovaným přístrojem) založenými na teoretických představách a odvozených abstraktními úvahami. [10]

Klasická dimenze nestatistického přístupu je spojena s používáním klasických pohybových rovnic a klasických pohybových zákonů při zkoumání pohybových stavů velkého počtu klasických částic pohybujících se uspořádaným pohybem, například vlnění. [10]

Elektromagnetické pole můžeme tedy pojmut (dle výše uvedených teoretických popisů) jako klasický a nestatisticky pojatý fyzikální objekt. Vychází z klasického experimentálního pozorování a zkoumá velké množství pohybujících se fotonů, které se chovají jako vlnění.

V našem zkoumání budeme mluvit o volném elektromagnetickém poli, při jehož zkoumání se lze omezit jen na vlnovou stránku vlnově korpuskulárního dualismu – pole se šíří prostorem (například vakuem nebo dielektrikem) jako monochromatická elektromagnetická vlna s jistou úhlovou frekvencí ω a s fázovou rychlostí rovnou

rychlosti světla c . Elektromagnetické záření je za této podmínky elektromagnetickým vlněním. Volné elektromagnetické pole je elektromagnetické pole existující v „rozlehlém“ prostoru bez přítomnosti nábojů. Velmi zjednodušeně lze volné pole popsat tak, že bylo vzbuzeno pohybujícím se bodovým nábojem, kdy rychlost pohybujícího se náboje klesá s druhou mocninou vzdálenosti. Druhá část vzbuzeného pole závisí na zrychlení a při velkých vzdálenostech od náboje klesá s první mocninou vzdálenosti. [8]

V úvodu tohoto článku zmiňujeme, že fyzika zkoumá stavy (a změny stavů) objektů na základě vzájemného působení látek a polí. Lze tedy napsat, že podstatu fyzikálního objektu lze pochopit jako vzájemné působení látek a polí. [10,11]

V úvodu kapitoly 1.2 bylo uvedeno, že Maxwellovy rovnice potvrdily existenci elektromagnetických vln, tedy že objekty na sebe navzájem působí silou jednoduše díky svojí přítomnosti. Ačkoliv dva objekty nejsou v přímém kontaktu společně navzájem, jsou v přímém kontaktu s médiem nebo mechanismem, které existuje mezi nimi. Síla mezi objekty je přenášena (konečnou rychlostí) jakýmsi tlakem vyvolaným prostorem ležícím mezi nimi. Pohled „teorie pole“ se tak vyhýbá pojmu „působení na dálku“ a nahrazuje jej pojmem „působení nepřetržitým kontaktem“. Tento „kontakt“ je způsobený tlakem nebo „polem“ indukovaným v prostoru mezi objekty pouhou jejich přítomností.

Tato myšlenka je podstatou teorie pole a je také základem všech moderních teorií popisujících svět okolo nás. Klasická teorie elektřiny a magnetizmu byla první z teorií pole. Zahrnuje mnoho matematicky komplikovaných pojmů. V důsledku toho je jí ještě nyní obtížné snadno porozumět. [8]

Zkoumáme-li interakce (vzájemné působení) částic dostáváme se k popisu základních „sil“, které jsou odpovědné za vytváření struktur a tedy existenci fyzikálních objektů. V současné době známe čtyři druhy vzájemných interakcí, kterými na sebe částice působí:

- silná interakce – silná jaderná síla - jedná se o projev interakce obecnější (tzv. barevné interakce), která souvisí se vzájemnou interakcí kvarků. Silná síla se projevuje na známých částicích (protony, ...), zatímco barevná se

projevuje na úrovni struktury. Tato interakce je zodpovědná za jaderné síly, které drží pohromadě jádro atomu. (Proto je silná síla odpovědná za to, že objekty (hvězdy, lidé, ...) jsou těžké. Většina hmotnosti daného objektu je soustředěna právě v atomovém jádru.).

- elektromagnetická interakce – elektromagnetická síla - působí mezi všemi nabitými částicemi a způsobuje proto elektromagnetické jevy. Její velikost je nulová v nekonečné vzdálenosti od nabitě částice. Tato interakce fixuje velikost atomů, strukturu pevné látky, způsobuje vazbu mezi elektronem a jádrem, ... Elektromagnetická síla tedy vytváří objem objektů. Většina sil z běžného života (třecí síly, odporové síly, ...) jsou projevem právě elektromagnetické interakce.
- slabá interakce – slabá jaderná síla - jedná o interakci, která způsobuje β rozpad. Podléhají jí částice, které nejsou nabitě (např. neutrina). Bez této interakce by se příroda obešla: 95 % částic by se jen přestala rozpadat. Tato interakce je tedy zodpovědná nikoliv za stabilitu mikroobjektů, ale za jejich přeměnu, případně rozpad.
- gravitační síla (G) - ve světě částic je její účinek zanedbatelně malý. Její význam je ale dominantní pro astronomii - drží pohromadě soustavy nebeských těles (Sluneční soustava, galaxie, ...), formuje hvězdy, běžná vesmírná tělesa s rozměry nad 100 km, ... Na rozdíl od elektromagnetické interakce nelze gravitační interakci žádným způsobem odstínit. Malý účinek této interakce v mikrosvětě je dán malou hmotností (resp. klidovou hmotností) objektů mikrosvěta. Jinými slovy gravitační síla je zanedbatelná ve srovnání s jinými silami, které působí mezi týmiž částicemi. [10,11,12]

Uvedené čtyři typy interakcí představují elementární formy silového působení, s nimiž je možné se při výkladu fyzikálních jevů setkat, a každé známe silové působení lze pomocí těchto interakcí vyložit. Většina vědců se domnívá, že jednotlivé interakce vznikly po velkém třesku – při výbuchu se začala rozpínat energie a později hmota. Tehdy mohly být čtyři elementární síly rozličnými formami síly jediné.[13, 14]

„Silné“ jaderné síly držící protony a neutrony pohromadě jsou kromě neobvyklých situací (např. atomová exploze) tak silné, že je nemožné jejich vazby zpřetrhat a energie v nich vázaná je pro nás v podstatě nedostupná. Energie, kterými můžeme snadno ovlivnit svůj každodenní život, a tudíž dominují změnám, které pozorujeme ve světě okolo nás, jsou elektromagnetického původu. Elektromagnetické síly jsou „pojivem“, které drží atomy pohromadě, tj. drží elektrony v blízkosti protonů a vážou atomy dohromady v látkách. Tato „Pauliho“ síla je kvantově mechanického původu a zabraňuje nábojům, aby se zhroutily všechny do jednoho bodu. Navíc je pohyb částic utlumen členem úměrným jejich rychlosti, což jim umožňuje zůstat ve stabilních nebo metastabilních stavech. [8]

Výše zmíněná „Pauliho“ síla má původ v Pauliho vylučovacím principu (spin – vnitřní moment hybnosti elementárních částic – fermionů a bosonů je roven lichému nebo sudému násobku $h/4\pi$ a platí nebo neplatí pro ně Pauliho vylučovací princip, respektive v atomu nemohou existovat dva elektrony, jejichž kvantová čísla by byla všechna stejná). Nabitě částice mohou snadno vytvářet makroskopické struktury. Coulombovým přitahováním se k sobě může přiblížit kladná a nabitá částice a vytvořit tak vázaný pár. Takový pár se chová jako elementární dipól a dipólovou silou se přitahuje s dalšími podobnými dvojicemi, nebo se samostatnými nabitými částicemi. Coulombova síla je základní silou pro vytváření struktur v mikrosvětě. Je přitažlivá pro částice s opačným nábojem a odpuzivá pro částice se stejným nábojem. Pauliho síla působící mezi částicemi je odpuzivou odpovědí látky na přitažlivou elektrostatickou sílu – udržuje záporně nabitě částice a kladně nabitě částice od sebe v konečných vzdálenostech. Zabraňuje tomu, aby se náboje nezhroutili do jednoho bodu.[8,10]

1.2.3 Hmotný bod – analogie bodového náboje

Při zkoumání makroskopických těles můžeme k popisu rozložení elektrických nábojů v tělese využít hustotu elektrického náboje. V některých případech však pro nás není rozložení náboje v tělese podstatné, a celé těleso můžeme nahradit tak

zvaným bodovým nábojem. [15] Bodový náboj je analogií pojmu hmotného bodu v mechanice. Hmotný bod je tedy objekt, u kterého zanedbáváme jeho tvar a velikost, ale počítáme s jeho hmotností a rychlostí (pohybem) a také určíme jeho polohu.

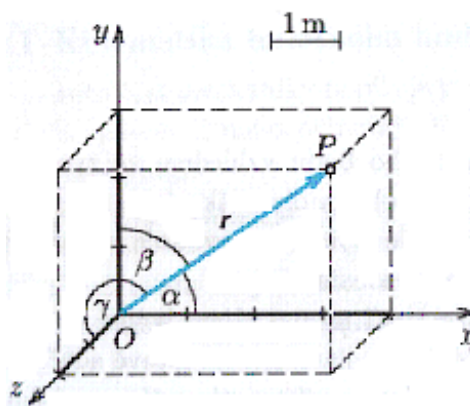
Pokud chceme popsat pohyb tělesa je potřeba určit vztažné těleso, k němuž je určována poloha. Polohu zkoumaného hmotného bodu je možné určit pomocí polohového vektoru \vec{r} , který lze zapsat pomocí jednotkových vektorů $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ souřadnicových os x, y, z ve tvarech

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \quad \vec{r}(x, y, z)$$

kde x, y, z jsou souřadnice koncového bodu polohového vektoru \vec{r} (počáteční bod leží vždy v počátku vztažné souřadnicové soustavy). Jednotkové vektory (mají délku 1) a leží v souřadnicových osách. Jejich souřadnice jsou

$$\vec{i} = (1,0,0), \quad \vec{j} = (0,1,0), \quad \vec{k} = (0,0,1)$$

Polohový vektor a jeho souřadnice x, y, z jsou funkcemi času a množina koncových bodů polohového vektoru vytváří trajektorii hmotného bodu. [10,11].



Obrázek 2: Grafické znázornění polohového vektoru v kartézské soustavě souřadnic

Zdroj: Prezentace 3. KINEMATIKA.ppt [on line]. [cit. 2015-12-25]. Dostupné z: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:rvphYQvNewcJ:mail.gvm.cz/people/vrana/vyuka/Fyzika/4.%2520ro%25C4%258Dn%25C3%25ADk/Maturitn%25C3>.

Trajektorie (dráha) hmotného bodu je množina všech koncových bodů polohového vektoru, kterou v čase t prošel. Mluvíme-li o trajektorii, popisujeme pohyb, tedy

kinematiku a pro jeho zákonitost je vzorcem pohybový zákon. Polohový vektor je jako soubor koncových bodů – dráha – funkcí času.

$$\vec{r} = \vec{r}(t)$$

Pokud hledáme příčinu tohoto pohybu, jde o dynamiku a charakteristikou je pohybová rovnice. Příčinou pohybu je určitá síla \vec{F} , pohybová rovnice je tedy rovna zákonu síly. Známý druhý Newtonův zákon

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m \cdot \ddot{\vec{r}}$$

kde m je hmotnost tělesa násobená druhou časovou derivací vektoru polohy \vec{r} , nebo-li zrychlení (tedy derivací vektoru rychlosti \vec{v} a rychlost \vec{v} je derivací polohového vektoru \vec{r} - vždy podle času). Řešením pohybové rovnice je poloha tělesa v libovolném okamžiku. V klasické mechanice tedy řešení popisuje trajektorii tělesa. V kvantové mechanice, která je pravděpodobnostní teorií, jde o poněkud obecnější problém, výsledkem je časově proměnná vlnová funkce.

Řešení obvykle není jednoznačné, protože v daném prostředí se lze pohybovat více způsoby. Pohyb je určen jednoznačně teprve po stanovení tzv. počátečních podmínek, například počáteční polohy a rychlosti tělesa. [10,11,16,17]

1.2.4 Základní pojmy z analytické mechaniky

Následující text popisuje základní pojmy z analytické mechaniky, které později využijeme pro pochopení následného postupu odvození Maxwellových rovnic pro popis stavů elektromagnetického pole. Mechanika při matematicko-fyzikálním popisu jevů a dějů, kterými se zabývá, uplatňuje dva základní přístupy:

- vektorovou mechaniku - při popisu se využívají vektory (viz výše popis polohového vektoru $\vec{r} = \vec{r}(t) = \{x(t), y(t), z(t)\}$ zadaného v kartézské soustavě souřadnic)
- analytickou mechaniku - základními veličinami, kterými se mechanika popisuje, jsou práce, kinetická energie, ...obecně tedy skaláry. Pohybové rovnice získáme

derivováním skalárů podle vhodných souřadnic. Tento přístup uplatňovali Leibnitz, Euler, Lagrange (Lagrangeův formalismus), Hamilton (Hamiltonův formalismus) a další. Pomocí těchto postupů lze provést zobecnění určitých jevů a posunout se ve fyzice mimo mechanické obory. Poloha je určována pomocí zobecněných souřadnic q_i , vhodných pro popis konfigurace soustavy. Pohyb soustavy – změna konfigurace koncových bodů zkoumaného objektu – je zjišťována pomocí vhodného principu – vztahu, který nám umožní zjistit časový vývoj nejen jediné částice, ale co nejobecněji fyzikální soustavy. [12,18]

Konfigurace soustavy v analytické mechanice je v daném okamžiku t určena souborem $\{q_i\}_{i=1..n}$ spojitě proměnných parametrů. Spojitě proměnné parametry jsou takové, které jsou nutné a postačující k popisu polohy soustavy a mluvíme tak o počtu n stupňů volnosti. [18]

Stav takové soustavy bude určen souborem $\{q_i, \dot{q}_i\}_{i=1..n}$ zobecněných souřadnic a zobecněných rychlostí (první derivace polohy) nebo ekvivalentními údaji zobecněných souřadnic a zobecněných hybností ($\{q_i, p_i\}_{i=1..n}$) a to vše v tak zvaném konfiguračním prostoru: uvažujme N stejných částic, $k = 1, 2, \dots, N$. Všechny mají stejnou hmotnost m a k -tá částice má souřadnice X_i^k , $i = 1, 2, 3$; $k = 1 \dots N$. Přechíslijeme postupně souřadnice N bodů ve 3-D prostoru na souřadnice jediného bodu v $3N$ -D prostoru (konfiguračním). Jednodušeji: popis pohybu N hmotných bodů v třírozměrném prostoru může být nahrazen popisem pohybu jednoho bodu v $3 \times N$ rozměrném prostoru. Konfigurační prostor bude mít vždy právě tolik rozměrů, kolik má soustava stupňů volnosti. [18]

Lagrangeova funkce nebo také lagrangián / lagranžián, popř. také kinetický potenciál systému, je funkce, která v sobě zahrnuje popis dynamiky systému; funkce je popsána pomocí zobecněných souřadnic. Lze ji tak následně použít pro výpočet různých úloh.

Hamiltonův formalismus rozvíjí Lagrangeův formalismus jistým směrem. Je ještě více obecnější než Lagrangeův formalismus. Hamiltonovy rovnice jsou dalším zobecněním Lagrangeových rovnic 2. druhu. [19]

Definujeme tzv. Lagrangeovu funkci $L = L(q_j, \dot{q}_j, t)$ jako rozdíl kinetické $T(q_j, \dot{q}_j, t)$ a potenciální $V(q_j, t)$ energie soustavy

$$L = T(q_j, \dot{q}_j, t) - V(q_j, t) = L(q_j, \dot{q}_j, t).$$

Lagrangeova funkce soustavy částic je tedy funkcí obecných souřadnic q_j a obecných rychlostí \dot{q}_j , popř. času t . Potom soustava n obyčejných diferenciálních rovnic 2. řádu

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial V}{\partial \dot{q}_j} \right) = \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial}{\partial \dot{q}_j} (T - V) \right] - \frac{\partial}{\partial q_j} (T - V) = 0,$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} = 0; \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

představuje tzv. Lagrangeovy rovnice 2. druhu – pohybové rovnice konzervativní soustavy v konfiguračním prostoru. Pokud zobecněná potenciální energie závisí i na rychlosti, užíváme pro potenciální energii V označení U , a platí

$$L = T - U \quad [10,11,20]$$

Hamiltonova rovnice označuje funkci vyjadřující celkovou energii fyzikálního systému. V jednoduchých případech – pro hmotný bod v neproměnném silovém poli – je $H = T + V$, kde T je kinetická energie a V potenciální energie. Přírozené proměnné hamiltoniánu H jsou zobecněné souřadnice a hybnosti. Platí vztah

$$H(q_j(t), p_j(t), t) = \sum_{i=1}^n p_i q^i - L \quad [10,11,19,21]$$

1.2.5 Operátor nabra, operace s vektory (zřídla, víry)

Operátor nabra je symbolický operátor, který se značí ∇ a zavádí se takto

$$\nabla \equiv \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z} = \nabla \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

Formálně se jedná o vektor, jehož složkami jsou symboly parciálních derivací podle kartézských souřadnic x, y, z .

Nejedná se o operátor v pravém slova smyslu, neboť není dán předpis, jak tento operátor aplikovat ani jeho definiční obor. V tom je ale právě jeho přednost, protože se ukazuje, že pomocí nabla operátoru se dají elegantně vyjádřit všechny dříve uvedené diferenciální operátory. Bude-li tento symbolický vektor spojen s vektorem stojícím napravo od něj skalárním součinem, bude jeho aplikace nazvána divergencí a označena div . Bude-li tento symbolický vektor spojen s vektorem stojícím napravo od něj vektorovým součinem, bude jeho aplikace nazvána rotací a označena rot . [10]

Přehled diferenciálních operátorů pomocí operátoru nabla a jejich definice:

➤ gradient $\text{grad } u = \nabla \cdot u$ součin vektoru nabla a skaláru u

Gradient je vektor, jehož složkami jsou parciální derivace skalárního pole podle jednotlivých souřadnic. Je tedy definován pouze v bodech, ve kterých existují všechny tři parciální derivace.

➤ divergence $\text{div } \vec{a} = \nabla \cdot \vec{a}$ skalární součin vektoru ∇ a vektoru \vec{a}

Divergence je součet tří parciálních derivací, kde první člen je derivací první složky vektorového pole podle první proměnné, druhý člen derivací druhé složky podle druhé proměnné a třetí člen derivací třetí složky podle třetí proměnné. V každém sčítanci tudíž index složky odpovídá pořadí (indexu) proměnné. Divergencí vektoru (vektorového pole) $\vec{a}(x, y, z)$ nazýváme skalár (skalární pole) $\text{div } \vec{a} = \frac{\partial a_1}{\partial x} + \frac{\partial a_2}{\partial y} + \frac{\partial a_3}{\partial z}$.

$$\text{div } \vec{a} = \frac{\partial a_1}{\partial x} + \frac{\partial a_2}{\partial y} + \frac{\partial a_3}{\partial z}$$

➤ rotace $\text{rot } \vec{a} = \nabla \times \vec{a}$ vektorový součin vektoru ∇ a vektoru \vec{a}

Rotací vektorového pole $\vec{a}(x, y, z)$ nazýváme vektorové pole

$$\text{rot } \vec{a} = \left(\frac{\partial a_3}{\partial y} - \frac{\partial a_2}{\partial z} \right) \vec{i} + \left(\frac{\partial a_1}{\partial z} - \frac{\partial a_3}{\partial x} \right) \vec{j} + \left(\frac{\partial a_2}{\partial x} - \frac{\partial a_1}{\partial y} \right) \vec{k}$$

➤ Laplaceův operátor $\Delta = \nabla \cdot \nabla = \nabla^2$ skalární součin vektoru ∇ se sebou samým

Laplaceovým operátorem rozumíme symbolický operátor $\Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$

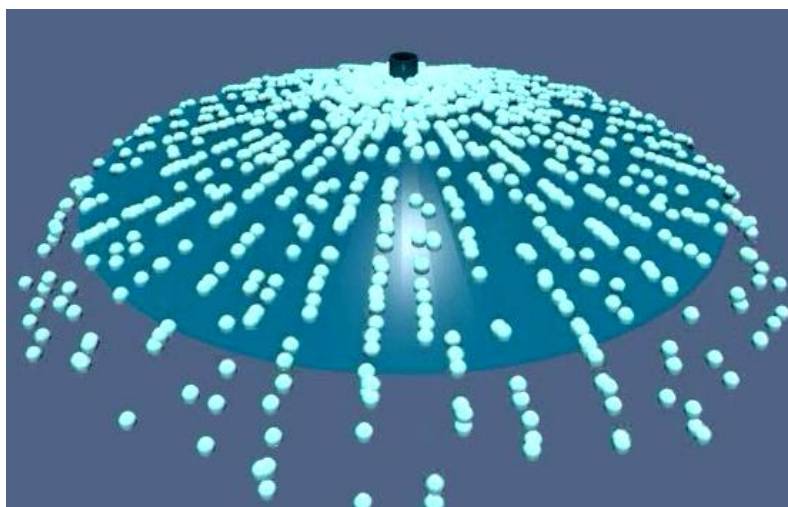
Aplikace na skalární pole: $\Delta \equiv \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$

Aplikace na vektorové pole: $\Delta \equiv \vec{i}\Delta a_1 + \vec{j}\Delta a_2 + \vec{k}\Delta a_3$ [22]

Pole je zobrazení, které každému bodu prostoru přiřadí dané hodnoty. Skalární pole je pole, které každému bodu v prostoru přiřazuje jedno číslo. Dobrý příklad takového pole je teplota atmosféry Země v blízkosti povrchu. Skalární pole můžeme vyjádřit například v číselné řadě nebo barevné škále v rovině (několik map pro vybranou fixní hodnotu z , v grafu vyznačíme závislost x a y pro určité z). Vektorové pole každému bodu v prostoru přiřazuje vektor, tedy tři čísla místo jednoho, jako v případě skalárního pole. Příkladem vektorového pole je rychlost atmosféry Země - rychlost větru. Jako příklad vizualizace polí tohoto druhu je na Obrázcích 3 a 4 znázorněn tok tekutiny, protože vizualizace takovýchto typů vektorových polí jsou nejjednodušší.

Obrázek 3 demonstruje zřídlo (zdroj) částic tekutiny. Částice se objevují ve středu kužele a pak vlivem gravitace směřují dolů podél kužele. Vektory rychlostí, pozorovány shora, míří od středu kužele. Na Obrázku 4 je ukázán fyzikální příklad toku pole, které nemá ani zřídlo a ani propad. Tok jednoduše cirkuluje – víří. Částice ani nevznikají, ani nezanikají (kromě začátku pohybu), jednoduše se pohybují v kruzích. [8]

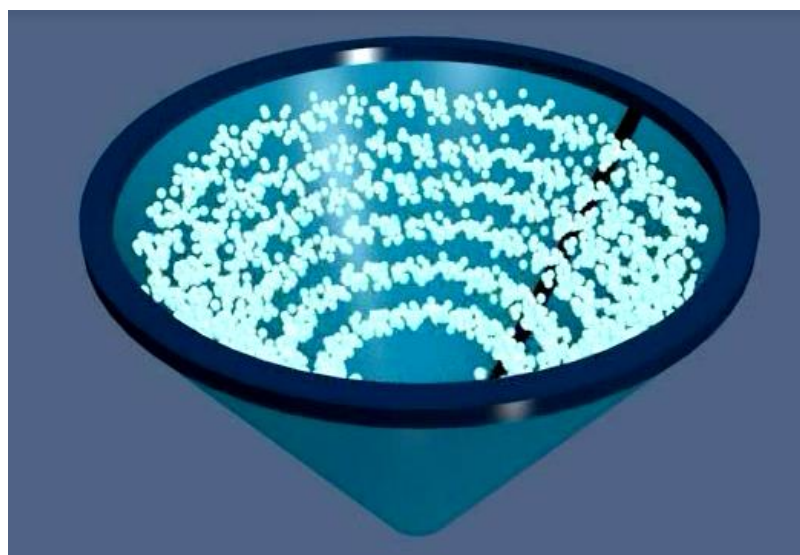
Velmi zjednodušeně si tak lze graficky představit vektorové pole, pokud použijeme operátor divergence – zřídlo a operátor rotace – vír. Formulace Maxwellových rovnic je matematickým popisem analýzy zřídlovosti a vírovosti elektrického a magnetického pole. Zřídla lze hledat u všech silových polí jako místa, z nichž vycházejí nebo do nichž vcházejí otevřené silokřivky příslušného pole. Víry pak jako místa, která jsou „obkroužena“ uzavřenými silokřivkami. [10]



Obrázek 3: Příklad zřídla částic a k němu přiřazenému toku tekutiny

Zdroj: Zřídlo částic. [on line]. [cit. 2015-12-29]. **Dostupné z:** http://www.aldebaran.cz/elmg/vizualizace_vekt.html#ParticleSource

Hledání zřidel a vírů elektromagnetického pole je hledání míst, která jsou zdrojem „změn“ stavu pole. Elektrické pole směřuje ke zřídlovosti, magnetické pole zřídla mít nebude. Charakteristickým znakem vírových polí je, že nemají klasický zdroj (jako je třeba náboj u elektrického pole), ale vystupují jako doprovodná pole polí zřídlových. [10,23]



Obrázek 4: Příklad cirkulující tekutiny

Zdroj: Tok kroužících částic. [on line]. [cit. 2015-12-29]. **Dostupné z:** http://www.aldebaran.cz/elmg/vizualizace_vekt.html#ParticleCircular

1.2.6 Základní pojmy teorie elektromagnetického pole

Náboje na elektrodách, proudy ve vodičích, permanentní magnety a podobně jsou zdroji elektromagnetického pole, které indukují ve svém okolí. Toto elektromagnetické pole, které je rozloženo v prostoru, se může měnit s časem. Nedělitelnými složkami elektromagnetického pole je pole elektrické a pole magnetické. Samostatně o nich mluvíme pouze, když se za určitých podmínek projevuje jen jedna složka a druhá je potlačena. Je to škála elektromagnetického vlnění o dvou složkách (elektrická a magnetická), vlnění je příčné a šíří se vakuem rychlostí $c = 299792458$ m/s (rychlost světla). Mezi frekvencí kmitání, vlnovou délkou a rychlostí šíření lze nalézt vztah:

$$c = \lambda \cdot f$$

kde λ je vlnová délka a f je frekvence vlnění. Níže uvádím stručný přehled veličin používaných v teorii elektromagnetického pole a jejich jednotek (v soustavě SI). [6, 10]

Elektrický náboj Q - skalární fyzikální veličina, jednotou je coulomb [C]. Tato veličina charakterizuje vlastnost těles (částic) vstupovat do elektromagnetické interakce. Má pro izolované soustavy (neinteragující s okolím) výjimečné vlastnosti: platí princip zachování náboje (tj. náboj je nevytvořitelný a nezničitelný); množství kladných a záporných nábojů si je rovno (tj. příroda jako celek je elektricky neutrální); náboj má kvantový charakter a jeho elementární náboj $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C (elektrický náboj jakéhokoliv tělesa je roven celistvému násobku elementárního náboje). [6, 24]

Elektrický proud I - skalární (základní) fyzikální veličina, jednotou je ampér [A]. Je tvořen uspořádaným pohybem elektrických nábojů v čase; dohodou je směr proudu stanoven jako směr pohybu kladných nosičů náboje. Pokud se směr ani velikost proudu s časem nemění, mluvíme o stejnosměrném proudu. [6, 24]

Intenzita elektrického pole \vec{E} – jedna ze složek elektromagnetického pole; vektorová veličina definovaná jako síla \vec{F}_e působící na jednotkový bodový náboj Q. Jednotkou je volt na metr [V/m].

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q} \quad [6]$$

Magnetická indukce \vec{B} – je vektorovou veličinou implicitně definovanou výrazem

$$\vec{F}_m = Q(\vec{v} \times \vec{B}).$$

Jednotkou magnetické indukce je tesla [T]. Velikost magnetické síly působící na náboj v daném místě magnetického pole tedy závisí na jeho rychlosti, ale i směru jeho pohybu. [6]

Intenzita elektrického pole \vec{E} a magnetická indukce \vec{B} jsou základními veličinami, které charakterizují elektromagnetické pole. Je-li ve vakuu, jsou tyto veličiny postačující. V látkovém prostředí zavádíme ještě dvě další vektorové veličiny: pro elektrickou indukci \vec{D} a pro magnetické pole intenzitu magnetického pole \vec{H} .

Elektrická indukce \vec{D} – je s vektorem intenzity elektrického pole E vázána vztahem

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E},$$

kde ε je veličina charakterizující elektrické vlastnosti prostředí a nazývá se permitivita, někdy označována jako absolutní permitivita (určitého materiálu), vyjádřená vztahem $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$. Absolutní permitivita nahrazuje permitivitu vakua ve všech elektrostatických rovnicích, jestliže prostor je místo vakua vyplněn dielektrikem. Permitivita vakua ε_0 je fyzikální konstanta, přesně stanovená hodnota, nejde o měřenou hodnotu. Veličina ε_r - relativní permitivita (dříve dielektrická konstanta) je látková konstanta, která vyjadřuje, kolikrát se elektrická síla zmenší v případě, že tělesa s elektrickým nábojem jsou místo ve vakuu umístěna v látkovém prostředí. Její hodnota závisí na vlastnostech daného materiálu.

Intenzita magnetického pole \vec{H} - je s vektorem magnetické indukce \vec{B} vázána vztahem $\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B}$, kde μ je veličina charakterizující magnetické vlastnosti prostředí a nazývá se permeabilita. Permeabilita vyjadřuje vliv (zeslabující, zesilující, neutrální) určitého materiálu nebo prostředí na výsledné účinky působícího magnetického pole.

Permeabilitu, stejně jako permitivitu, známe absolutní, vakua a relativní, s hodnotou v závislosti na látkovém prostředí. [6]

Lorentzova síla – je síla, kterou působí elektromagnetické pole na částici s nábojem Q , pohybující se rychlostí \vec{v} . Jednotkou je newton [N]. Řečeno obráceně – na částici, která se nachází v elektrickém i magnetickém poli působí Lorentzova síla:

$$\vec{F}_{elmg} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = Q \cdot \vec{E} + Q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Intenzita elektrického pole E a magnetická indukce B jsou základními veličinami, které charakterizují elektromagnetické pole. Je-li ve vakuu, jsou tyto veličiny postačující. V látkovém prostředí zavádíme ještě dvě další vektorové veličiny: pro elektrickou indukci D a pro magnetické pole intenzitu magnetického pole H . [6]

Lorentzovu sílu jako elektromagnetickou sílu, která působí na zkoumané elektromagnetické pole, lze odvodit díky Lagrangeově funkci L náboje Q v konstantním poli. Pro náboj Q v konstantním elektromagnetickém poli platí následující Lagrangeovy rovnice $L = T - U$. Kinetická energie náboje T je dána vztahem

$$T = \frac{1}{2}mv^2,$$

kde v je nerelativistická rychlost náboje. Potenciální energii U lze vyjádřit vztahem

$$U = -Q\vec{E}\vec{r} - \frac{Q}{2}\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v}),$$

kde \vec{E} a \vec{B} jsou intenzita konstantního elektrického pole a magnetická indukce konstantního magnetického pole (viz popis výše), \vec{r} je obvyklý polohový vektor.

Potenciální energie náboje pro elektrické pole úzce souvisí s fyzikální veličinou práce, která je přímo úměrná velikosti náboje a je dána velikostí síly působící na náboj, který v elektrickém poli přesuneme o určitou vzdálenost – měníme umístění náboje, měníme jeho elektrický potenciál ($W = F \cdot d = E \cdot Q \cdot d$, kde d je vzdálenost, o kterou náboj přesuneme a můžeme ji vyjádřit pomocí polohového vektoru \vec{r}).

Potenciální energie magnetického pole je rovna práci, kterou je nutné vykonat pro jeho vytvoření. Magnetické pole vzniká díky pohybu elektrického náboje. Souvisí tedy nejen se vzdáleností, o kterou přemístíme náboj, ale i s rychlostí přesunu. Podíl ve

vzorci tedy souvisí se změnou kinetické energie náboje – pohybem elektrického potenciálu, při kterém vzniká magnetické pole.

Lagrangeovu funkci pro konstantní pole lze tedy zapsat ve tvaru

$$L = T - U = \frac{1}{2}mv^2 + Q\vec{E}\vec{r} + \frac{Q}{2}\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v}).$$

Po dosazení za L do Lagrangeových rovnic 2. druhu (kapitola 1.2.4 této bakalářské

práce $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} = 0$, kde zobecněné souřadnice $q_1 = x, q_2 = y, q_3 = z$) lze získat

souhrnný tvar pro všechny tři pohybové rovnice

$$m \cdot \ddot{\vec{r}} = Q \cdot \vec{E} + Q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad [10,11]$$

Po srovnání se zákonem síly lze potvrdit výše uvedený vztah pro Lorentzovu sílu

$$\vec{F}_{elmg} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = Q \cdot \vec{E} + Q(\vec{v} \times \vec{B}).$$

1.2.7 Maxwellovy rovnice elektromagnetického pole

Na základě výše uvedených základních pojmů a po seznámení se s teorií zříděl a vírů elektrických a magnetických polí, bude dále elektromagnetické pole popsáno pomocí Maxwellovy teorie elektromagnetického pole. V posledním odstavci kapitoly 1.2 již bylo zmíněno, že Maxwellova teorie elektromagnetického pole je fenomenologická a makroskopická. Teorie popisuje elektromagnetické pole vzbuzené makroskopicky rozloženými náboji a makroskopickými proudy bez přihlédnutí k jejich makroskopické struktuře. V rámci této teorie lze tak proud i náboj považovat za spojitě rozložené. V souvislosti s tím, je však nutné zavést veličiny hodnota hustota náboje ρ , hustota vodivého proudu \vec{i} a hustota Maxwellova proudu.

Hustota náboje ρ - při zkoumání elektrických sil nemáme zpravidla co činit s jednotlivými bodovými či elementárními náboji, ale s nabitými makroskopickými

tělesa. Jde tedy o velké soubory nabitých částic, které jsou rozloženy v objemu, popř. na povrchu tělesa, s velkou hustotou tak, že toto rozložení můžeme považovat za spojité. Nejde zde ovšem o spojitost v matematickém smyslu, nýbrž ve smyslu fyzikálním: zvolíme-li "nekonečně malý" (diferenciální) objem nabitého tělesa, budeme stále předpokládat, že obsahuje velké množství elementárních nábojů, takže se neprojeví kvantování náboje. Uvažujme těleso libovolného tvaru o objemu V , které je v klidu vůči dané inerciální soustavě. Předpokládejme, že toto těleso nese náboj Q , jehož rozložení po celém objemu tělesa je časově neproměnné. Okamžitě můžeme definovat střední objemovou hustotu náboje jako poměr

$$\rho = \frac{Q}{V}.$$

Hustota vodivého proudu \vec{i} (proudová hustota, někde značena \vec{J}) – vyjadřuje náboj, který projde za 1 s jednotkovou plochou průřezu vodiče a je definována vztahem

$$\vec{i} = \vec{J} = \rho^+ \vec{v} \quad \text{nebo} \quad \vec{i} = \vec{J} = \frac{I}{S}$$

kde je objemová hustota kladných nosičů proudu a \vec{v} je rychlost jejich pohybu v daném bodě; I je elektrický proud, S průřez vodiče. Protéká-li proud stejné intenzity vodičem o větším průřezu a vodičem o menším průřezu, pak hustota proudu bude větší ve vodiči s menším průměrem.

Maxwellův proud - Maxwellův proud nesouvisí přímo s pohybem nábojů, ale s časovou změnou elektrického pole. Je pokračování vodivého proudu v izolantu a lze jej vyjádřit vztahem

$$\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

Vzniká při časové změně elektrického pole. Vodivý proud (jinými slovy „Ampérův“ elektrický proud I) je spojen s pohybem volných nábojů, Maxwellův proud s pohybem vázaných nábojů (s polarizací dielektrika). [6,10,19,25]

Východiskem pro uvedení Maxwellových rovnic bude výběr zřídels a vírů elektromagnetického pole a jejich popis prostřednictvím operátorů divergence a rotace. Zřídla a víry elektromagnetického pole jsou místa, kde došlo ke změně stavu pole.

Elektrické siločáry mohou být otevřenými křivkami, jestliže vycházejí z náboje nebo do náboje vcházejí. Zřídlo elektrického pole je pak možné popsat hustotou ρ elektrického náboje. Indukční čáry magnetického pole jsou naopak vždy uzavřenými křivkami – magnetické pole nebude mít zřídla. Existuje i elektrické pole charakterizované uzavřenými elektrickými siločarami a spojené s jevem elektromagnetické indukce – vírem elektrického pole pak bude proměnné magnetické pole. Magnetické pole se objeví, dá-li se náboj do pohybu. Víry magnetického pole budou tedy spojeny s hustotou \vec{i} vodivého proudu a s hustotou $\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ Maxwellova proudu. [10]

Za předpokladu $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r, \mu = \mu_0 \mu_r$ můžeme přistoupit k formulaci Maxwellových rovnic. Lze je zapsat buď v integrálním, nebo diferenciálním tvaru. V integrálním tvaru popisují elektromagnetické pole v jisté oblasti, kdežto v diferenciálním tvaru v určitém bodu této oblasti.

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad \text{zřídlem elektrického pole je elektrický náboj}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad \text{magnetické pole je nezřídlové; nemá náboj}$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{vírem elektrického pole je proměnné magnetické pole}$$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i} + \varepsilon \mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad \text{víry magnetického pole jsou vodivý a Maxwellův proud}$$

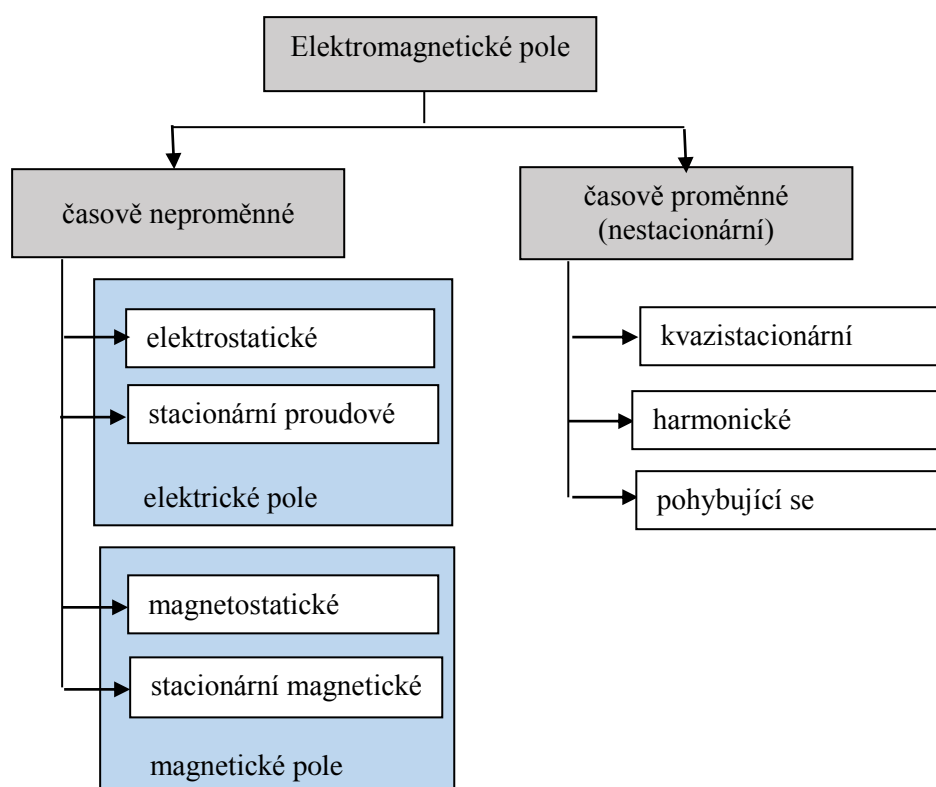
$$(\mu \vec{i} \text{ je pohyb volného náboje, } \varepsilon \mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \text{ je pohyb vázaného náboje)} \quad [10,11]$$

Elektromagnetické vlnění je nestacionární děj, při němž mění se elektrické pole vytváří pole magnetické. Tento poznatek je nejdůležitější z poznatků Maxwellovy teorie elektromagnetického pole, která je základem elektrodynamiky. Jednou ze základních forem vzájemného působení hmotných objektů je elektromagnetická interakce, která se projevuje existencí elektrických a magnetických sil. [13]

1.2.8 Klasifikace elektromagnetického pole

Podle časového průběhu rozlišujeme elektromagnetické pole na časově proměnné (nestacionární) a časově neproměnné (stacionární a statické).

O poli časově neproměnném mluvíme, jsou-li náboje v klidu nebo v rovnoměrném pohybu. Rozlišujeme takto pole statické a pole stacionární. U časově neproměnného elektromagnetického pole lze vyšetřovat odděleně elektrické a magnetické pole. U pole časově proměnného je nutné zkoumat obě pole současně. Statická pole (magnetostatická a elektrostatická) existují pouze v makroskopickém pojetí.



Obrázek 5: Různé formy elektromagnetického pole podle jeho závislosti na čase
Zdroj: MAYER Daniel. *Aplikovaný elektromagnetismus*. České Budějovice: KOPP, 2012 (538 s.). ISBN 978-80-7232-436-1

Obrázku 5 jsou popsány různé formy elektromagnetického pole podle časového průběhu. Dále bude uveden krátký popis k jednotlivým stavům:

- elektrostatické pole - elektrické pole nepohybujících se nábojů v dielektriku,

- proudové pole – pole stacionárního elektrického proudu ve vodivém prostředí,
- magnetické pole – pole indukované stacionárním elektrickým proudem,
- magnetostatické pole – pole v oblasti, v níž je magnetické pole potenciální (např. magnetické pole permanentních magnetů),
- kvazistacionární pole – pole pomalu proměnné (posuvný proud je zanedbatelný vůči proudu vodivému),
- harmonické pole – pole periodicky proměnné, v tzv. ustáleném stavu, s časem se mění podle sinové nebo kosinové funkce,
- pohybující se pole – pole točivé a pole posuvné.

Elektromagnetická pole můžeme rozlišovat i podle rozložení v prostoru (homogenní, jednorozměrné, dvourozměrné, trojrozměrné). [6]

1.2.9 Maxwellovy rovnice pro různé stavy elektromagnetického pole

Maxwellovy rovnice platí pro popis statických, stacionárních a kvazistacionárních stavů elektromagnetického pole. Při popisu nestacionárních stavů je omezující podmínkou předpoklad platnosti Maxwellových rovnic – rychlosti nábojů jsou malé ve srovnání s rychlostí světla. Následující popis statických, stacionárních, kvazistacionárních a nestacionárních stavů elektromagnetického pole má jen přibližnou platnost. Pro pochopení fyzikálních principů (teorie elektromagnetického pole), na jejichž základě pracují přístroje v nukleární medicíně, rentgenu nebo sonografii, je popis dostačující. Pro připomenutí: divergence – zřídlo, rotace – vír.

- Statické stavy elektromagnetického pole – jsou spojeny s nepohyblivými náboji. Zřídlem je elektrický náboj, magnetické pole neexistuje. S tímto stavem je spojeno elektrické uzemnění. Z hlediska radiologie – nukleární medicína.

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = 0, \operatorname{rot} \vec{B} = 0$$

- Stacionární stavy elektromagnetického pole – jsou spojeny s ustáleným pohybem náboje v jednom směru (stejnoseměrný proud). Zřídlem je elektrický

náboj, objevuje se (vírové) magnetické pole. Často lze mluvit o konstantním elektromagnetickém poli. Z hlediska radiologie – detekce, dozimetrie ionizujícího záření (Geiger-Müllerův počítač).

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = 0, \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i}$$

- Kvazistacionární stavy elektromagnetického pole – jsou spojeny s pomalými změnami směru pohybu částic s nízkofrekvenčním střídavým proudem. Zřídlem je elektrický náboj, existuje vírové magnetické pole, které lze zanedbat, objevuje se vírové elektrické pole, proměnné s časem. Z hlediska praxe – generátory elektrického proudu, obecně všechny elektrospotřebiče, elektromotory.

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i}$$

- Nestacionární stavy elektromagnetického pole – jsou spojeny s rychlými změnami směru pohybu částic s vysokofrekvenčním střídavým proudem. Zřídlem elektrického pole je elektrický náboj, magnetické pole je nežřídlové, vírem elektrického pole je proměnné magnetické pole a víry magnetického pole jsou vodivý a Maxwellův proud. Z hlediska radiologie – sonografie a magnetická rezonance (velmi rychlé změny).

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i} + \varepsilon \mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad [10]$$

1.3 Statistika

Statistika je věda o zjišťování, zpracování a rozboru číselných údajů, shromažďovaných buď k popisu rozsáhlých souborů, nebo k redukci rušivých odchylek způsobených náhodnými činiteli. Je naukou, jak získat informace numerických dat. Pomáhá nám při přípravě a provedení výzkumu a při vyhodnocení získaných výsledků. Poskytuje prostředky a koncepty, které umožňují pracovat s výsledky tak, abychom

porozuměli určitému problému, našli pravděpodobné chování určitého jevu za určitých podmínek nebo jako v této bakalářské práci – pomáhá určit, zda existuje shoda mezi teoreticky předpokládaným rozdělením a empirickým rozdělením (rozdělením hodnot pořízených náhodným výběrem).

K získání určitých poznatků o zkoumaných jevech nestačí jednotlivé pozorování, nýbrž je nutné pozorování hromadné, a v tomto smyslu mluvíme o hromadném jevu. Statistika se zabývá jevy a procesy, které se vyskytují ve velkém množství prvků, kterým říkáme statistické jednotky. Mohou to být organizace, podniky nebo jako v našem případě osoby – studenti. Vlastnosti statistických jednotek vyjadřují statistické znaky kvantitativní (jeho hodnoty se dají vyjádřit číselně) nebo kvalitativní (jejich hodnoty, jednotlivé obměny, lze vyjádřit pouze slovně – ano/ne, muž/žena). V práci bylo použito metod konkrétně matematické statistiky, která se zabývá metodami získávání, zpracování a vyhodnocování hromadných dat (tzn. údajů o vlastnostech velkého počtu jedinců - osob, věcí či jevů). [26,27,28,29]

Praktickou statistiku lze rozdělit na tři části:

- 1) získávání dat – zahrnuje metody pro sběr dat, pro zodpovězení daných otázek;
- 2) analýza dat – představuje organizaci dat a popis užitím grafů, numerických souhrnů a dalších matematicky propracovaných prostředků. Někdy se této oblasti říká popisná statistika;
- 3) statistické usuzování (inference) – provádí závěry z analýzy dat, dodává k nim zhodnocení a určuje spolehlivost závěrů. Používá k tomu pravděpodobnostní pojmy. Jedná se o nejnáročnější oblast, kdy nevhodně aplikovaná metoda zhodnocení dat může závěry značně zkreslit. [29]

1.3.1 Statistické zpracování výsledků - teorie

Tato kapitola má za cíl popsat základní statistické pojmy a teoretický postup statistického šetření. Statistiku a její metody v této bakalářské práci využijeme pro potvrzení nebo popření stanovených hypotéz.

a) Formulace statistického šetření

Formulace statistického šetření je založena na vymezení následujících pojmů:

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

Hromadné náhodné jevy HNJ mohou a nemusí nastat při provádění pokusu (testování), nelze je před provedením pokusu předvídat. Je to určitá vlastnost statistické jednotky SJ – určité zkoumané množiny se stejnými vlastnostmi. (Příklad NHJ – věková struktura osob vyšetřovaných na přítomnost alkoholu v krvi, SJ – vyšetřovaná osoba.)

Statistický znak SZ rozumíme výsledek náhodného procesu určitou vlastnost nebo prováděnou činnost statistických jednotek SJ, kterou mají (provádějí) za jinak stejných podmínek. (Příklad SZ – věk vyšetřovaných osob.)

Hodnota statistického znaku HSZ je způsob popisu zkoumaného statistického znaku pomocí naměřených hodnot nebo pomocí prvků škály (pokud statistické hodnoty nabývají velkého počtu obměn).

Základní statistický soubor ZSS je dán všemi statistickými jednotkami, jeho rozsah je roven počtu všech statistických jednotek. Zpravidla není možné prakticky zkoumat SZ všech SJ a je nutno přistoupit k omezení ZSS – získáme tak výběrový statistický soubor VSS a to procesem náhodného výběru NV (například losováním, aby nedošlo ke zkreslení výsledků subjektivním výběrem jednotek). [30]

b) Škálování

Škálování je vhodné vyjádření a seskupení hodnot statistického znaku prostřednictvím prvků škály. K výpočtu vhodného počtu intervalů je jako nejznámější využíváno Sturgesovo pravidlo: $k \approx 1 + 3,3 \log \cdot n$, kde k je počet prvků škály

a n je počet statistických jednotek. Podle povahy statistického znaku je možné rozlišovat čtyři typy škál:

- nominální (klasifikace do kategorií, prvek škály je roven kategorii – pohlaví, zaměstnání a podobně),
- ordinální (prvky škály jsou jednotlivá pořadí statistických jednotek, jak je určíme; nelze stanovit vzdálenost mezi dvěma sousedními prvky – dosažený stupeň vzdělání),
- kvantitativní metrickou (umožňuje stanovit vzdálenost mezi dvěma sousedními statistickými jednotkami, nemusí začínat v nule, ale je nezbytné stanovit definovat jednotku škály),
- absolutní metrickou (kvantitativně metrická škála s povinným začátkem v nule).

V některých případech lze hodnoty statistického znaku ztotožnit se škálou a škálování není potřeba provádět. V této bakalářské práci bude využito škálování, konkrétně škála kvantitativně metrická. [30]

c) Měření

Měření je proces, kdy je ke každému statistické jednotce SJ výběrového statistického souboru VSS přiřazován jeden z prvků škály x_1, x_2, \dots, x_k . Výsledkem měření je zjištění, kolikrát byl prvek škály x_i naměřen. Tedy, že prvek škály x_i ($i = 1, 2, \dots, k$) byl naměřen n_i . Součet všech hodnot n_i ($i = 1, 2, \dots, k$) nazýváme absolutní četnosti a musí být roven rozsahu n výběrového statistického souboru.

d) Elementární statistické zpracování

Výsledky měření s výhodou uvádíme v tabulce rozdělení četností (stručně tabulka četností), která je speciálním případem tabulky agregovaných (souhrnných) údajů. Řádky tabulky představují jednotlivé obměny zobrazovaného znaku, zobrazeným údajem jsou četnosti (počty) výskytu těchto obměn (například kolikrát se ve třídě vyskytla známka 1 z matematiky). Tabulka obsahuje osm sloupců, z čeho poslední čtyři jsou potřebné pro výpočet empirických parametrů. Celkově je tabulka uzavřena součty údajů v jednotlivých sloupcích:

- prvky škály x_i
- absolutní četnosti prvků škály n_i
- relativní četnosti prvků škály n_i/n
- kumulativní četnosti $\sum(n_i/n)$
- součin $x_i \cdot n_i$
- součin $x_i^2 \cdot n_i$
- součin $x_i^3 \cdot n_i$
- součin $x_i^4 \cdot n_i$

Četnost (někdy zvaná absolutní četnost, cizím slovem frekvence) obměny znaku je rovna celkovému počtu výskytů této obměny v souboru. Relativní četnosti vyjadřují, jakou část z celku (souboru) tvoří jednotky s danou obměnou znaku. Obvykle se uvádějí v procentech. Součet relativních četností = 100. U ordinálních a metrických znaků se v tabulce rozdělení četností uvádějí rovněž kumulativní četnosti. Kumulativní četnost i -té obměny je definována jako součet četností všech obměn znaku, které v daném uspořádání mají hodnotu nižší nebo nejvýše rovnu sledované obměně. Kumulativní četnost v pořadí první obměny je rovna její absolutní četnosti; kumulativní četnost poslední obměny je rovna rozsahu (počtu jednotek) celého souboru. [30]

e) Empirické parametry

Empirické parametry stručně a jednoduše vystihují povahu zkoumaného statistického souboru:

- parametry polohy – aritmetický průměr. Je určen obecným momentem 1. řádu $O_1(x)$. Vyjadřuje polohu empirického rozdělení četností neboli umístění na vodorovné ose x souřadnicového systému. Obecné momenty je možné vypočítat podle vzorce: $O_r(x) = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^r$, kde za r je dosazeno číslo příslušného obecného momentu (1, 2, 3, 4).
- parametry proměnlivosti (variability) – empirický rozptyl. Směrodatná odchylka S_x je odmocnina rozptylu a ukazuje, jakou výpovědní hodnotu má aritmetický

průměr. Je-li směrodatná odchylka velká, výpovědní hodnota aritmetického průměru je malá. Je určen centrálním momentem 2. řádu $C_2(x)$. $S_x = \sqrt{C_2(x)}$

- parametry šikmosti – je určován pomocí normovaného momentu 3. řádu $N_3(x)$ a nese název koeficient šikmosti. Je-li koeficient kladný, pak prvky škály ležící vlevo od aritmetického průměru mají vyšší četnosti. Křivka normálního Gaussova rozdělení je odkloněna doleva.

$$N_3(x) = \frac{C_3(x)}{C_2(x)\sqrt{C_2(x)}}$$

- parametry špičatosti - je určován pomocí normovaného momentu 4. řádu $N_4(x)$ a nese název koeficient špičatosti. Používá se rovněž veličina exces, definovaná vztahem $E_x = N_4(x) - 3$. Exces srovnává špičatost empirického rozdělení se špičatostí známého normovaného normálního rozdělení. Je-li exces kladný, je empirické rozdělení špičatější než rozdělení podle Gausse.

$$N_4(x) = \frac{C_4(x)}{[C_2(x)]^2} \quad [30,31]$$

f) χ^2 - test dobré shody

Moderní statistika pojala testování hypotéz jako rozhodovací problém, při kterém proti sobě stojí dvě tvrzení - hypotézy. Jedna, která představuje rovnovážnou situaci, jakýsi klidový stav, se nazývá nulová hypotéza a značí se H_0 . Nulová hypotéza bývá většinou vyjádřena matematickým vztahem rovnosti „ $=$ “. Oproti ní stojí hypotéza alternativní (alternativa) H_1 , který bývá vyjádřena jako určitá forma nerovnosti: „ \neq “.

Princip testování hypotéz je založen na ověřování platnosti nulové hypotézy H_0 proti alternativní hypotéze H_1 . Výsledkem testu mohou být tedy dvě rozhodnutí:

- není důvod zamítnout nulovou hypotézu H_0 , proto bude přijata
- hodnoty z výběrového souboru odporují nulové hypotéze H_0 , proto se zamítá a přijímá se alternativní hypotézu H_1

χ^2 („chí kvadrát test“) test dobré shody (Pearsonův χ^2 test) pracuje se skutečností, že přijmu-li nulovou hypotézu, má empirické pozorování očekávané četnosti; pokud H_0

zamítnu, pozorované četnosti se liší od očekávaných. Přezkoušíme, zda tvar pravděpodobnostního rozdělení kategoriální proměnné X má specifickou podobu. [29,32]

Výpočet χ^2 testu lze provést dle vzorce

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

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

K vypočteným hodnotám u_i se ze statistických tabulek (například <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/tabulky.htm#chi2>) dohledají příslušné hodnoty Φu_i . Následně jsou dopočítány hodnoty pravděpodobnostní funkce p_i a teoretického absolutního rozdělení četností $np_i = VSS \cdot p_i$. Pro úspěšné použití χ^2 testu je nutné, aby četnost většiny kategorií byla větší než 5.

Další možností je výpočet pomocí funkcí v tabulkovém procesoru Microsoft Excel, který ale vypočte rovnou hodnotu p_j , která pokud je větší než hladina významnosti – zpravidla $\alpha = 0,05$ - platí nulová hypotéza. Hladinou významnosti rozumíme hodnotu pravděpodobné chyby (pravděpodobnost, že označíme nulovou hypotézu jako správnou, i když správná nebude, je rovna $\alpha = 0,05 = 5 \%$). [32,33]

1.3.2 Statistické šetření – praktické výsledky testování

V kapitole 1.3.1 popsané statistické šetření zde aplikujeme na data získaná testováním znalostí studentů, kteří byli seznámeni s výukovým materiálem pro teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty. Celkem bylo vyplněno 10 testů v písemné podobě (studenti 2. ročníku oboru radiologický asistent na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích) a 61 testů v elektronické podobě (vytvořený test na www.survio.com). Edukační text a odkaz na test v elektronické podobě obdrželi

studenti 3. ročníku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích prostřednictvím studijního oddělení. Stejně byli osloveni se žádostí o prostudování edukačního textu a vyplnění testu studenti oboru radiologický asistent níže uvedených univerzit.

- Lékařská fakulta Masarykovy univerzity v Brně,
- Fakulta biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze,
- Fakulta zdravotnických studií univerzity Pardubice,
- Lékařská fakulta Ostravské univerzity v Ostravě,
- Fakulta zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci,
- Fakulta zdravotnických studií Západočeské univerzity v Plzni,
- Vysoká škola zdravotnická, o.p.s. v Praze.

Test znalostí vychází z edukačního textu. Obsahuje celkem 22 otázek s dvěma až čtyřmi možnostmi odpovědi, vždy je ale správná pouze jedna. K vyplnění testu není potřeba jiných znalostí, než uvedených v edukačním textu. Za každou správnou odpověď získá student 1 bod, za špatnou 0 bodů.

V elektronické verzi testu byly chybně vypsány možnosti odpovědí u otázky č. 19 (odpověď a) i b) byly shodné), a proto byla tato otázka ze statistického šetření vyřazena, aby nezkreslovala 100 % výsledkem prováděné statistické šetření. Každý student tak mohl získat maximálně 21 bodů.

a) Formulace statistického šetření

Formulace statistického šetření je založena na vymezení následujících pojmů:

- Hromadný náhodný jev (HNJ) – zkoumání znalostí studentů formou testu
- Statistická jednotka (SJ) – student, který byl podroben testování
- Statistický znak (SZ) – rozdílná znalost jednotlivých studentů
- Hodnoty statistického znaku (HSZ) – počet bodů, který studenti získali v testu
- Základní statistický soubor a jeho rozsah (ZSS) – studenti oboru radiologický asistent, kteří se podrobili testování

- Náhodný výběr (NV) – výběr ze ZSS – losem, generátorem náhodných čísel. V této práci není náhodný výběr prováděn.
- Výběrový statistický soubor a jeho rozsah (VSS) – soubor statistických jednotek, kterém byly vybrány náhodným výběrem. Zde náhodný výběr nebyl použit, VSS je roven počtu studentů, kteří vyplnili test znalostí, a tedy je roven i ZSS.

b) Škálování

K výpočtu vhodného počtu intervalů použijeme Sturgesovo pravidlo:

$$k \approx 1 + 3,3 \log \cdot n$$

k počet prvků škály
n počet statistických jednotek.

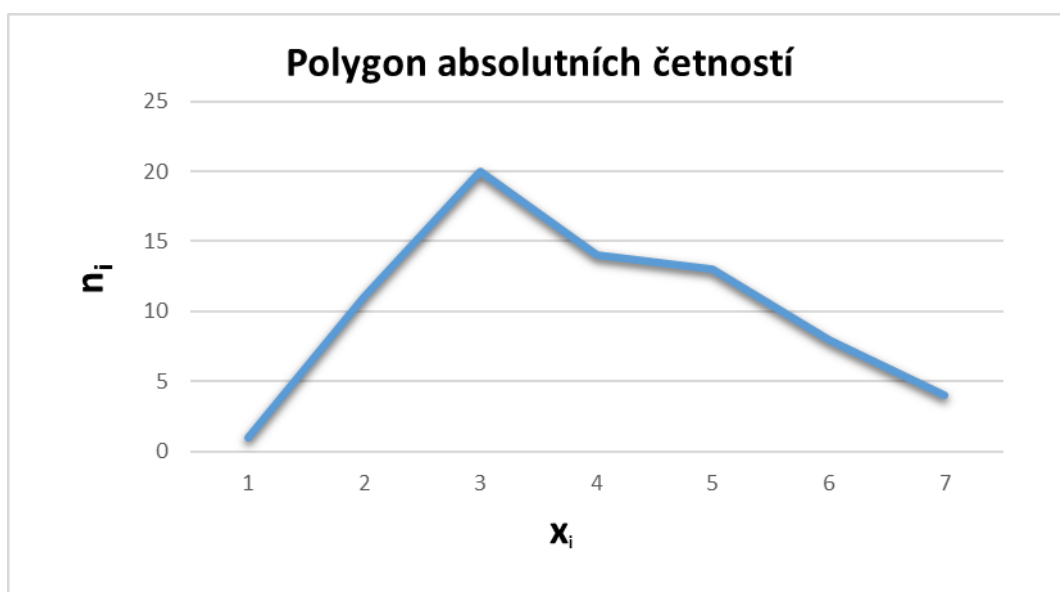
Počet statistických jednotek je roven počtu vyplněných testů, tj. 71. Optimální počet prvků škály, po dosazení do výše uvedeného vzorce je 7,1. V bakalářské práci využijeme kvantitativní metrickou škálu se sedmi prvky, kdy vzdálenost mezi jednotlivými prvky budou 2 body (získané v testu). Nejmenší počet získaných bodů je 4, nejvyšší počet 19.

| | |
|--------------------------|-------------|
| 1. škála méně než 5 bodů | 1 studentů |
| 2. škála 6 -7 bodů | 11 studentů |
| 3. škála 8 – 9 bodů | 20 studentů |
| 4. škála 10 – 11 bodů | 14 studentů |
| 5. škála 12 – 13 bodů | 13 studentů |
| 6. škála 14 – 15 bodů | 8 studenti |
| 7. škála 16 a více bodů | 4 student |
| Celkem | 71 studentů |

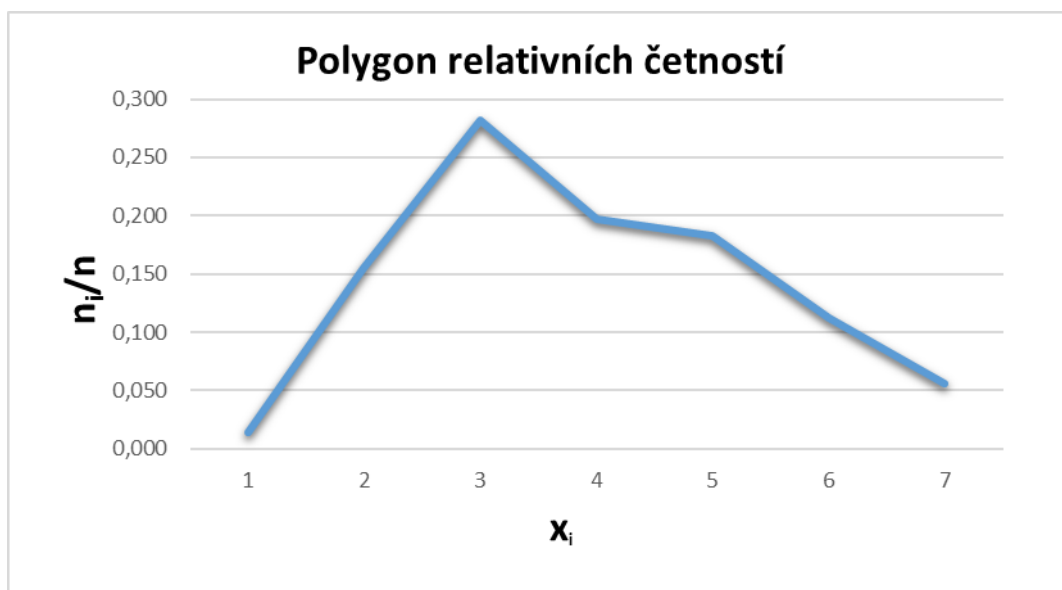
c) Elementární statistické zpracování naměřených hodnot

Tabulka 1: Elementární statistické zpracování

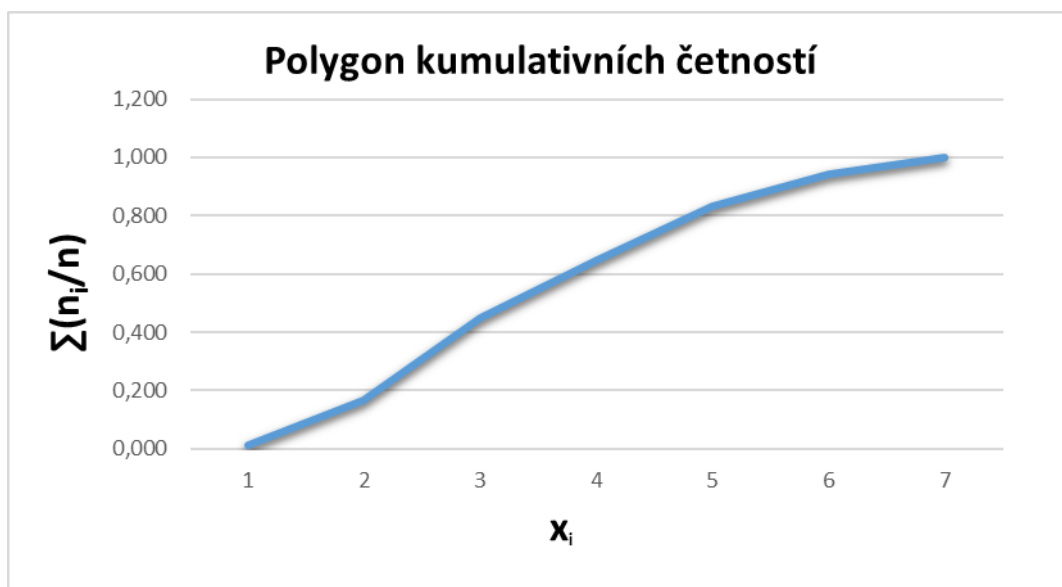
| x_i | $x_i(a;b)$ | $X_i(a;b)$ | n_i | n_i/n | $\sum(n_i/n)$ | $x_i \cdot n_i$ | $x_i^2 \cdot n_i$ | $x_i^3 \cdot n_i$ | $x_i^4 \cdot n_i$ |
|---------------|--------------------|-------------|---------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| prvky škály | rozpětí škály-body | střed škály | četnost prvků | relativní četnost | kumulace četností | | | | |
| 1 | 1-5 | 3,5 | 1 | 0,014 | 0,014 | 4 | 12 | 43 | 150 |
| 2 | 6-7 | 6,5 | 11 | 0,155 | 0,169 | 72 | 465 | 3 021 | 19 636 |
| 3 | 8-9 | 8,5 | 20 | 0,282 | 0,451 | 170 | 1 445 | 12 283 | 104 401 |
| 4 | 10-11 | 10,5 | 14 | 0,197 | 0,648 | 147 | 1 544 | 16 207 | 170 171 |
| 5 | 12-13 | 12,5 | 13 | 0,183 | 0,831 | 163 | 2 031 | 25 391 | 317 383 |
| 6 | 14-15 | 14,5 | 8 | 0,113 | 0,944 | 116 | 1 682 | 24 389 | 353 641 |
| 7 | 16-21 | 18,5 | 4 | 0,056 | 1,000 | 74 | 1 369 | 25 327 | 468 540 |
| Součty | --- | --- | 71 | 1 | --- | 745 | 8 548 | 106 659 | 1 433 921 |



Obrázek 6: Graf absolutních četností



Obrázek 7: Graf relativních četností



Obrázek 8: Graf kumulativních četností

d) Empirické parametry

➤ parametry polohy – aritmetický průměr. Obecný moment 1. řádu $O_1(x)$.

$$O_1(x) = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum n_i x_i = \frac{1}{71} 745 = 10,493$$

- parametry proměnlivosti (variability) – empirický rozptyl. Centrální moment 2. řádu $C_2(x)$.

$$C_2(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^2 - O_1^2 = \frac{1}{71} 8548 - 10,493^2 = 120,394 - 110,103 = 10,291$$

$$\text{Směrodatná odchylka } S_x = \sqrt{C_2} = \sqrt{10,291} = 3,208$$

- parametry šikmosti – normovaný moment 3. řádu $N_3(x)$.

$$N_3(x) = \frac{C_3(x)}{C_2(x)\sqrt{C_2(x)}} = \frac{\frac{1}{n} \sum n_i x_i^3 - 3O_2O_1 + 2O_1^3}{C_2\sqrt{C_2}}$$

$$N_3(x) = \frac{\frac{1}{71} 106659 - 3 \cdot 120,394 \cdot 10,493 + 2 \cdot 10,493^3}{10,291 \sqrt{10,291}}$$

$$N_3(x) = \frac{1502,239 - 3789,883 + 2310,623}{33,013} = 0,696$$

Křivka normálního Gaussova rozdělení je odkloněna doleva.

- parametry špičatosti - normovaný moment 4. řádu $N_4(x)$. $N_4(x) = \frac{C_4(x)}{[C_2(x)]^2}$

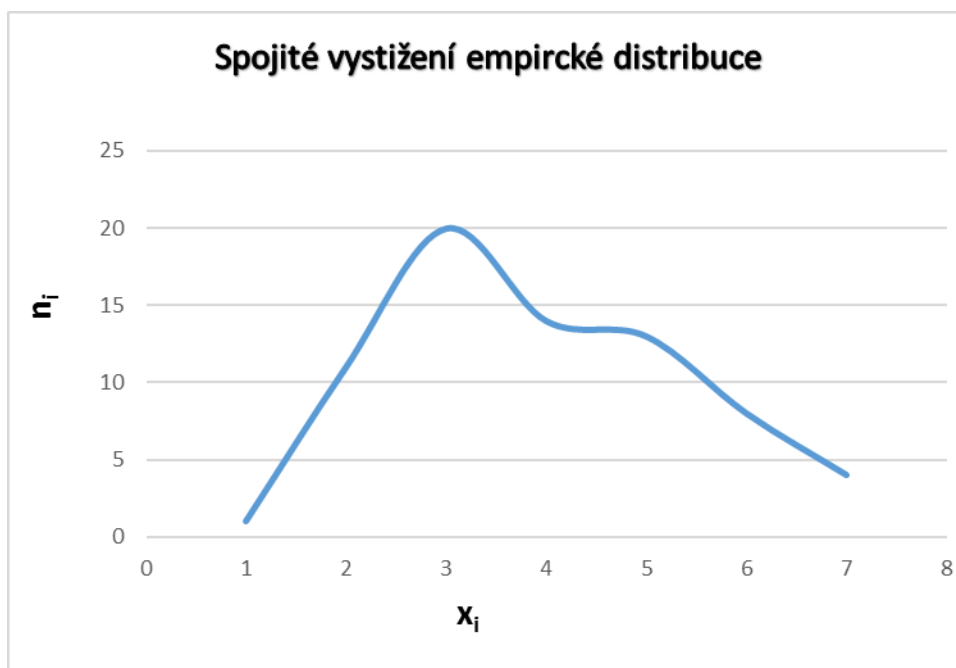
$$N_4(x) = \frac{C_4(x)}{[C_2(x)]^2} = \frac{\frac{1}{n} \sum n_i x_i^4 - 4O_3O_1 + 6O_2O_1^2 - 3O_1^4}{C_2^2}$$

$$N_4(x) = \frac{\frac{1}{71} 1433921 - 4 \cdot 1502,239 \cdot 10,493 + 6 \cdot 120,394 \cdot 10,493^2 - 3 \cdot 10,493^4}{10,291^2}$$

$$N_4(x) = \frac{2019607 - 63051975 + 79534479 - 36368044}{105,905} = 2,932$$

$$\text{Exces } E_x = N_4(x) - 3 = 2,932 - 3 = -0,068$$

Empirické rozdělení je méně špičaté než rozdělení podle Gausse.



Obrázek 9: Spojité vystižení empirické distribuce

e) χ^2 - test dobré shody

Z tabulky 1 Elementárního statistického zpracování převezmeme hodnoty, které jsou nezbytné pro χ^2 - test dobré shody.

Tabulka 2: Hodnoty pro neparametrické testování hypotéz

| x_i prvky škály | $x_i (a;b)$ rozpětí škály-body | $x_i (a;b)$ střed škály | n_i četnost prvků |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1 | 1-5 | 3,5 | 1 |
| 2 | 6-7 | 6,5 | 11 |
| 3 | 8-9 | 8,5 | 20 |
| 4 | 10-11 | 10,5 | 14 |
| 5 | 12-13 | 12,5 | 13 |
| 6 | 14-15 | 14,5 | 8 |
| 7 | 16-21 | 18,5 | 4 |
| Součty | --- | --- | 71 |

Stanovení nulové hypotézy H_0 : Znalosti radiologických asistentů z oblasti teorie elektromagnetického pole mají rozdělení blízké normálnímu rozdělení (Gaussova funkce).

Alternativní hypotéza H_1 : Znalosti radiologických asistentů z oblasti teorie elektromagnetického pole jsou odlišné od normálního rozdělení (Gaussova funkce).

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

x_i = horní mez intervalu = 5, 7, 9, 11, 13, 15, $+\infty$

$\mu = O_1 = 10,493$

$\sigma = S_x$ = směrodatná odchylka = 3,208

Všechny vypočtené hodnoty a hodnoty dohledané ve statistických tabulkách jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 3: Tabulka hodnot pro Pearsonův test dobré shody

| x_i | $x_i(a;b)$ | $x_i(a;b)$ | n_i | u_i | Φu_i | p_i | np_i |
|---------------|--------------------|-------------|---------------------|----------|----------------------|------------------|--------|
| prvky škály | rozpětí škály-body | střed škály | četnost prvků (VSS) | | dle statist. tabulek | kde $i=1\dots 6$ | |
| 1 | (- ∞ ; 5) | 3,5 | 1 | -1,71 | 0,04 | 0,04 | 3,10 |
| 2 | (6;7) | 6,5 | 11 | -1,09 | 0,14 | 0,09 | 6,69 |
| 3 | (8;9) | 8,5 | 20 | -0,47 | 0,32 | 0,18 | 12,87 |
| 4 | (10;11) | 10,5 | 14 | 0,16 | 0,56 | 0,24 | 17,35 |
| 5 | (12;13) | 12,5 | 13 | 0,78 | 0,78 | 0,22 | 15,53 |
| 6 | (14;15) | 14,5 | 8 | 1,40 | 0,92 | 0,14 | 9,72 |
| 7 | (16; $+\infty$) | 18,5 | 4 | ∞ | 1,00 | 0,08 | 5,70 |
| Součty | --- | --- | 71 | | | | |

Pro úspěšné použití je nutné, aby četnost většiny kategorií byla větší než 5. Z tohoto důvodu byly sloučeny škály 1 a 2 a škály 6 a 7.

Tabulka 4: Tabulka hodnot pro Pearsonův test dobré shody po úpravě

| x_i | $x_i(a;b)$ | $x_i(a;b)$ | n_i | np_i |
|---------------|--------------------|-------------|---------------------|--------|
| prvky škály | rozpětí škály-body | střed škály | četnost prvků (VSS) | |
| 1, 2 | $(-\infty; 7)$ | 3,5 | 12 | 9,79 |
| 3 | (8;9) | 8,5 | 20 | 12,87 |
| 4 | (10;11) | 10,5 | 14 | 17,35 |
| 5 | (12;13) | 12,5 | 13 | 15,53 |
| 6, 7 | $(14;+\infty)$ | 14,5 | 12 | 15,42 |
| Součty | --- | --- | 71 | |

Stanovení experimentální hodnoty kritéria χ^2_{exp} dle vzorce

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

$$\chi^2_{\text{exp}} = \frac{(12 - 9,79)^2}{9,79} + \frac{(20 - 12,87)^2}{12,87} + \frac{(14 - 17,35)^2}{17,35} + \frac{(13 - 15,53)^2}{15,53} + \frac{(12 - 15,42)^2}{15,42}$$

$$\chi^2_{\text{exp}} = 0,499 + 3,95 + 0,647 + 0,412 + 0,759$$

$$\underline{\chi^2_{\text{exp}} = 6,267}$$

Kritická teoretická hodnota (nalezena ve statistických tabulkách) a stupeň volnosti (stupeň volnosti: počet prvků škály, méně počet dopočítávaných hodnot, méně 1):

$$v = 5 - 2 - 1 = 2 \quad \alpha = 0,05 \quad \Longrightarrow \quad \underline{\chi^2_{\text{teoret.}} = 5,99}$$

Pravostranný kritický obor $W = (5,99; \infty)$

$\chi^2_{\text{exp}} \in W \quad \Longrightarrow \quad$ nelze přijmout nulovou hypotézu; empirické rozdělení znalostí studentů nelze nahradit normálním rozdělením (odlišnost kritické hodnoty od hodnoty experimentální není ovšem příliš velká).

2 Hypotézy a metodiky výzkumu

2.1 Stanovení cílů a hypotéz

Cílem této bakalářské práce je vytvořit ucelený, nevědecky popsaný, výukový materiál o teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty. Materiál, který bude přiměřený znalostem studentů z oblasti fyziky. Následným cílem je tak zjistit, zda vytvořený text odpovídá očekávání a je vhodný pro výuku teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty a studenty příbuzných oborů. Zda je materiál pro výuku dostatečný nebo není příliš složitý, bude ověřeno vyhodnocením dotazníkového šetření (test znalostí).

Stanovené cíle v bodech:

- vytvořit očekávané, projektové a implementované kurikulum v oblasti teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty,
- verifikaci přiměřenosti projektového kurikula pomocí experimentální výuky a statistické vyhodnocení výsledků verifikace dotazníkovým šetřením.

Na základě stanovených cílů lze tak formulovat hypotézy, které podrobíme statistickému vyhodnocení:

- Hypotéza první: Aplikací teorie kurikulárního procesu lze zpracovat teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty.
- Hypotéza druhá: Znalosti radiologických asistentů z oblasti teorie elektromagnetického pole mají rozdělení blízké normálnímu rozdělení (Gaussova funkce).

2.2 Metodika výzkumu

Teoretické pracovní postupy výzkumu lze segmentovat takto:

- identifikace problému,
- formulace problému a jeho vytýčení obecnými výzkumnými otázkami,

- předpoklady řešení ve formě podmíněně pravdivých výroků (ve formě hypotéz),
 - hypotetické deduktivní usuzování a induktivní generalizace,
 - pozorování s kvantitativním, kvalitativním nebo smíšeným pojetím, ověřování (testování) a interpretace,
 - experiment nebo aplikace logiky experimentu v případě neexperimentální metody.
- [34]

Aplikováno na tuto bakalářskou práci lze metodiku výzkumu popsat v následujících bodech:

- 1) Analýza současného vědeckého systému fyziky v oblasti teorie elektromagnetického pole s aplikací kurikulárního procesu.
- 2) Stanovení hypotéz.
- 3) Převod vědeckého systému fyziky na sdělitelný vědecký systém – vytvoření edukačního textu.
- 4) Vytvoření testu pro ověření získaných znalostí studentů oboru radiologický asistent a oborů příbuzných a jeho předložení studentům.
- 5) Statistické vyhodnocení znalostního testu předloženého studentům.

Ad. 1) Analýza současného vědeckého systému fyziky v oblasti teorie elektromagnetického pole s aplikací kurikulárního procesu.

V současné době není volně k dispozici jednoduchý edukační text na téma teorie elektromagnetického pole, který by byl přiměřený znalostem studentů studijního oboru radiologický asistent a dalších příbuzných oborů. Z hlediska kurikulárního procesu lze do tohoto bodu zahrnout konceptuální a zamýšlené kurikulum, tedy stanovení cíle práce a popis všech poznatků z oblasti vybrané teorie.

Ad. 2) Stanovení hypotéz.

Na základě stanovených cílů lze formulovat hypotézy, které po statistickém vyhodnocení odpoví na otázky, zda cíle bakalářské práce byly naplněny zcela, částečně nebo vůbec. Stanovené hypotézy viz kapitola 2.1.

Ad. 3) Převod vědeckého systému fyziky na sdělitelný vědecký systém – vytvoření edukačního textu.

V tomto bodu se jedná o projektové a implementované kurikulum-1. Z veškerých popsaných poznatků teorie elektromagnetického pole byly vybrány základní informace, které jsou nezbytné pro popis stavů elektromagnetického pole. Byl tak vypracován edukační text (pro studenty, Příloha 2 této bakalářské práce) a zároveň podklad pro výuku učitelem – PowerPointová prezentace (k dispozici na k bakalářské práci přiloženém CD ROM).

Ad. 4) Vytvoření testu pro ověření získaných znalostí studentů oboru Radiologický asistent a oborů příbuzných a jeho předložení studentům.

Test znalostí vychází z edukačního textu. Obsahuje celkem 22 otázek s dvěma až čtyřmi možnostmi odpovědi, vždy je ale správná pouze jedna. K vyplnění testu není potřeba jiných znalostí, než uvedených v edukačním textu. Za každou správnou odpověď získá student 1 bod, za špatnou 0 bodů. Test byl zároveň vypracován v elektronické podobě (www.survio.com) a rozeslán prostřednictvím studijních oddělení studentům oboru radiologický asistent jiných univerzit. V kurikulárním procesu – implementované kurikulum-2.

Ad. 5) Statistické vyhodnocení znalostního testu předloženého studentům.

Zpracování získaných dat, závěrečné celkové vyhodnocení statistických výsledků, v bakalářské práci stanovených hypotéz (dosažené kurikulum). V bakalářské práci kapitola 1.3.2 a shrnutí v kapitole 3.

3 Výsledky

Analýzou současného vědeckého systému fyziky v oblasti teorie elektromagnetického pole bylo zjištěno, že není k dispozici ucelený a jednoduchý učební text pro studenty oboru radiologický asistent a obory příbuzné, který by tuto oblast fyziky srozumitelně studentům popsal. Aplikací kurikulárního procesu byly stanoveny postupné kroky k dosažení konečného cíle: vytvoření srozumitelného edukačního textu a experimentální ověření jeho srozumitelnosti (potvrzení, zda je vhodný pro výuku studentů).

Postupné kroky kurikulárního procesu lze shrnout do pěti transformací:

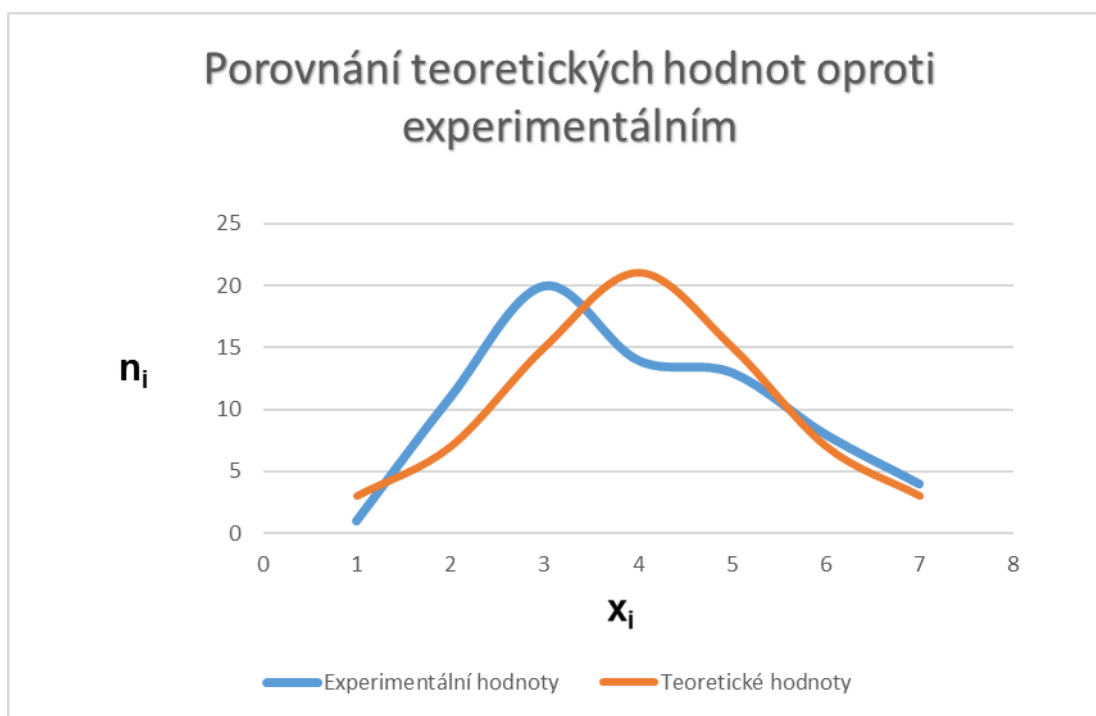
- **Transformace T¹** - „konceptuální kurikulum“ – záměr a stanovený cíl - vytvořit vhodný vzdělávací text pro výuku teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty.
- **Transformace T²** - „zamýšlené kurikulum“ – popis veškerých poznatků z oblasti teorie elektromagnetického pole. V bakalářské práci kapitola 1.2.
- **Transformace T³** - „projektové kurikulum“ a „implementované kurikulum-1“ – vytvoření edukačního textu a podkladu pro výuku učitelem – PowerPointová prezentace a vytvoření testu pro verifikaci znalostí studentů. Příloha 2 a Příloha 3 bakalářské práce a PowerPointová prezentace na přiloženém CD ROM).
- **Transformace T⁴** - „implementované kurikulum-2“ – statistické vyhodnocení znalostí studentů z vyplněných testů. Kapitola 4 – Výsledky.
- **Transformace T⁵** - „dosažené kurikulum“ - celkové vyhodnocení statistických výsledků s konstatováním dosažení správnosti v bakalářské práci stanovených hypotéz. Závěr bakalářské práce – kapitola 5.

Na základě stanovených cílů byly formulovány hypotézy. Výsledkem klasického statistického šetření a testování hypotéz lze jednoznačně vyhodnotit, zda cíle bakalářské práce byly naplněny zcela, částečně nebo vůbec.

Nejprve byly popsány poznatky z teorie elektromagnetického pole (kapitola 1.2 bakalářské práce) a následně byl vypracován zjednodušený výukový materiál, který je Přílohou 2 této bakalářské práce. Teorie elektromagnetického pole pro radiologické

asistenty je postavena na základních znalostech fyziky z oblasti elektromagnetismu. Určité oblasti radiologie, které nazýváme jako stacionární, statický, kvazistacionární nebo nestacionární elektromagnetického pole, lze popsat souborem Maxwellových rovnic. Maxwellova teorie elektromagnetického pole je fenomenologická; rovnice popisující elektromagnetické pole jsou matematickým popisem experimentů Michaela Faradaye. Na základě vysvětlené teorie zříděl a vířů elektrického a magnetického pole byly popsány jednotlivé stavy elektromagnetického pole.

Pro ověření znalostí byl vypracován test (Příloha 3 bakalářské práce), který obsahuje 22 otázek, a jehož výsledky byly statisticky zpracovány. Výsledky statistického šetření jsou uvedeny níže, vstupní data k šetření jsou uvedeny v kapitole 1.3.2.



Obrázek 10: Ilustrace porovnání teoretických a experimentálních hodnot

χ^2 test dobré shody pracuje se skutečností, že přijmu-li nulovou hypotézu, má empirické pozorování očekávané četnosti; pokud H_0 zamítну, pozorované četnosti se liší od očekávaných. Výpočtem teoretických a experimentem zjištěných hodnot bylo

zjištěno, že v bakalářské práci stanovenou hypotézu druhou: „Znalosti radiologických asistentů z oblasti teorie elektromagnetického pole mají rozdělení blízké normálnímu rozdělení (Gaussova funkce)“, lze přijmout jen s jistou tolerancí.

Z obrázku výše a vypočtených hodnot $\chi^2_{\text{exp}} = 6,267$ a $\chi^2_{\text{teoret.}} = 5,99$ je patrné, že úpravou edukačního textu lze dosáhnout příznivějšího výsledku. Rozdíl mezi teoretickým rozdělením a experimentem zjištěným není významný.

Na základě neparametrického testování bylo zjištěno, že znalosti studentů neodpovídají Gaussově distribuci. Přesto ale hypotézu první nelze zcela odmítnout: „Aplikací teorie kurikulárního procesu lze zpracovat teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty“. Edukační text i test byly vytvořeny.

4 Diskuze

Výsledkem statistického šetření je popřena nulová hypotéza hypotézy druhé a tedy platí, že znalosti radiologických asistentů z oblasti teorie elektromagnetického pole nemají rozdělení blízké normálnímu rozdělení (Gaussově funkci). Na základě podobnosti empiricky zjištěných hodnot k hodnotám teoretickým (viz Obrázek 10) bude tento výsledek podroben diskuzi.



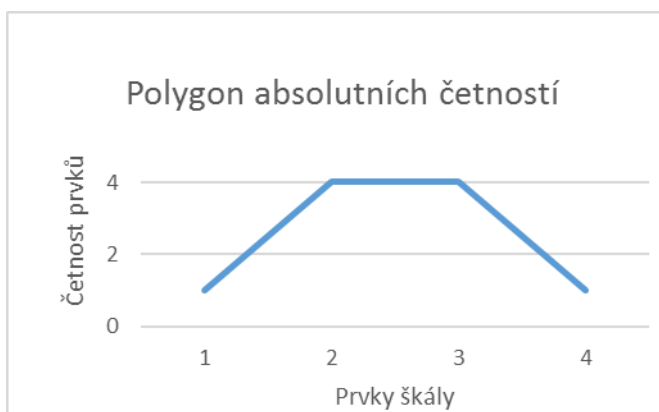
Obrázek 11: Počet bodů za jednotlivé otázky v % - všechny testy

Na Obrázku 11 je graficky zpracován výsledek získaného počtu bodů za jednotlivé otázky u všech respondentů. Rozborem výsledků u respondentů, kteří prokazatelně absolvovali přednášku a respondentů, kteří test vyplnili v elektronické podobě a samostatné studium edukačního testu mohli zanedbat, jsou patrné nezanedbatelné rozdíly.

Tabulka 5 vypovídá o skutečnosti, že respondenti, kteří absolvovali přednášku, byli celkově v testu úspěšnější, v průměru dosáhli 61 % úspěšnosti, oproti respondentům, kteří test vyplnili v elektronické podobě (pouze 47 % úspěšnost). Vzhledem k nízkému

počtu písemných odpovědí nebylo možné samostatně zpracovat test dobré shody pouze za odpovědi získané v písemné podobě. Z výsledku procentuální úspěšnosti u jednotlivých odpovědí v písemných testech je pravděpodobné, že by hypotézu druhou, stanovenou v bakalářské práci, bylo možné přijmout.

| prvky škály | rozpětí škály-body | četnost prvků |
|-------------|--------------------|---------------|
| 1 | 0-8 | 1 |
| 2 | 9-13 | 4 |
| 3 | 14-18 | 4 |
| 4 | 19 a více | 1 |



Obrázek 12: Polygon absolutních četností pouze za testy v písemné podobě

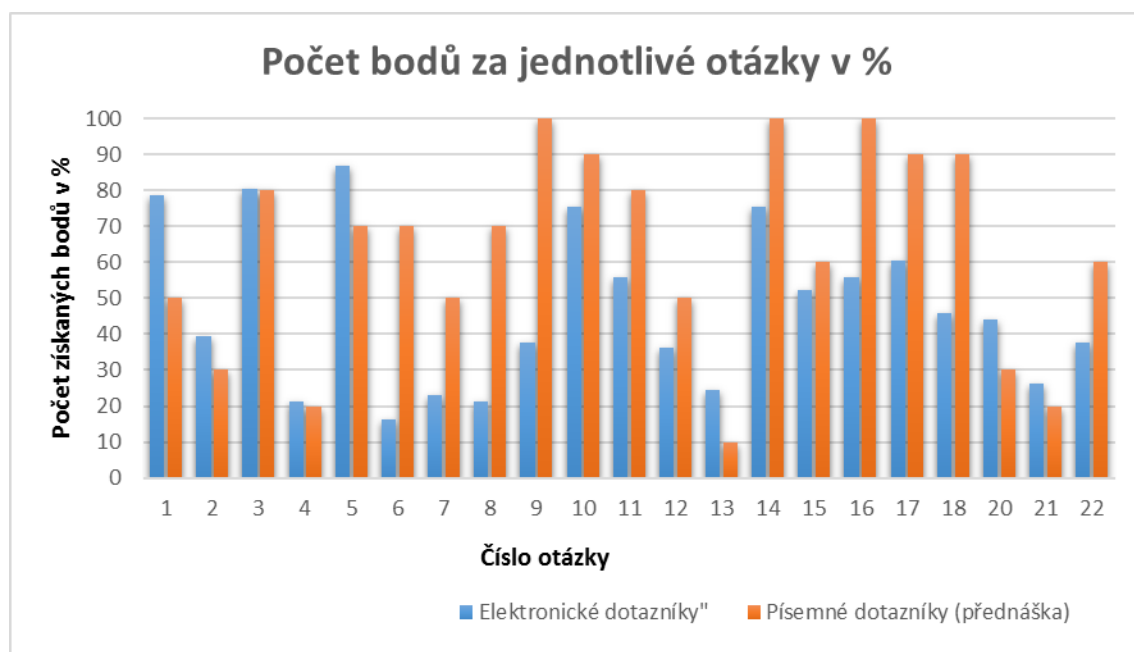
Zároveň je však z Tabulky 5 vidět, že obtížnost otázek pro respondenty, kteří absolvovali fyzicky přednášku a pro ostatní respondenty, je různá. Shodný nízký počet správných odpovědí je u otázky číslo 4 (pojetí fyzikálního objektu).

Tabulka 5: Vybrané ukazatele z dotazníků

| | maximum | minimum | průměr | otázky s počtem bodů | |
|---------------------------------|---------|---------|--------|----------------------|-----------|
| | | | | nejvyšším | nejnižším |
| Celkový počet dotazníků | 85 | 21 | 50 | 3, 5, 14 | 4, 6, 13 |
| Dotazníky v elektronické podobě | 87 | 16 | 47 | 1, 3, 5 | 4, 6, 8 |
| Dotazníky v písemné podobě | 100 | 10 | 61 | 9, 14, 16 | 4, 13, 21 |

Studenti, kteří odpovídali na dotazníky v elektronické podobě, byli úspěšnější u prvních pěti obecnějších otázek. U otázek odbornějších, kde je s výhodou studentům

podat vysvětlení k určitým jevům, byli úspěšnější studenti, kteří absolvovali přednášku. Graficky jsou rozdílné výsledky u obou skupin respondentů vidět na Obrázku 13.



Obrázek 13: Počet bodů za jednotlivé otázky v % - písemné vs. elektronické testy

Z výše uvedeného vyplývá, že lze potvrdit hypotézu první, tedy že „Aplikací teorie kurikulárního procesu lze zpracovat teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty.“ Ze statistického šetření a z následného rozboru rozdílů mezi respondenty je vidět, že účast studentů na přednáškách může mít zásadní vliv na jejich znalosti.

5 Závěr

Bakalářská práce se zabývala aplikací teorie kurikulárního procesu na oblast teorie elektromagnetického pole se zaměřením na radiologické asistenty. Domnívám se, že aplikace metody kurikulárního procesu v rámci zkoumaného problému potvrzuje, že vědecké poznatky lze zpracovat sdělitelným způsobem. Vznikl edukační text, který je dle mého názoru vhodný pro výuku teorie elektromagnetického pole pro studenty oboru radiologický asistent a obory příbuzné.

Statistické vyhodnocení dotazníků potvrdilo hypotézu, že znalosti radiologických studentů z oblasti teorie elektromagnetického pole bylo možné nahradit normálním rozdělením podle Gaussovy funkce, jen přibližně (odlišnost kritické hodnoty normality od zjištěné hodnoty experimentální nebyla příliš velká). Po rozboru výsledků z hlediska dvou skupin respondentů – znalosti studentů, kteří prokazatelně absolvovali přednášku (experimentální výuku; odevzdali písemné testy) a znalosti studentů, kteří obdrželi edukační materiál a test v elektronické podobě (a nelze s jistotou tvrdit, že edukační materiál prostudovali) – je možné konstatovat zásadní rozdíl v úspěšnosti odpovědí na testové otázky. I přesto a právě proto je možné ale potvrdit hypotézu první: Aplikací teorie kurikulárního procesu lze zpracovat teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty.

Cílem bakalářské práce bylo přenést vědecké poznatky teorie elektromagnetického pole do sdělitelného systému, na úroveň znalostí studentů studijního oboru radiologický asistent, a to metodou kurikulárního procesu. Bylo tak vytvořeno očekávané (cíl práce), projektové (edukační test a text) a implementované kurikulum 1 a 2 (podklady pro výuku, PowerPointová prezentace a výsledky v podobě vyplněných dotazníků) v oblasti teorie elektromagnetického pole pro radiologické asistenty. Výsledkem je dosažené kurikulum - statistické vyhodnocení výsledků verifikace dotazníkovým šetřením a jejich předložení diskuzi.

Na základě výsledků uvedených v Kapitole 4 lze usuzovat, že edukační text je třeba v určitých oblastech upravit tak, aby byl vhodným materiálem pro výuku teorie elektromagnetického pole pro všechny zájemce o znalosti této oblasti fyziky, tedy nejen

pro radiologické asistenty. Na základě statistického šetření dvou skupin respondentů by řešením mohlo být doplnění textu pro samostudium o obrázky z PowerPointové prezentace, kde jsou součástí krátká videa například zřidel nebo virů elektrických nábojů.

Praktickým přínosem bakalářské práce je vypracovaný edukační text s PowerPointovou prezentací, které lze s výhodou využít pro výuku teorie elektromagnetického pole. Po vyhodnocení výsledků jednotlivých otázek pak lze pozornost při výuce teorie zaměřit na rozdíly mezi pohybovým zákonem a pohybovou rovnicí. Dále také na teorii zřidel a virů elektromagnetického pole, která studentům pomůže lépe určit, který soubor Maxwellových rovnic popisuje který stav elektromagnetického pole. Teoretickým přínosem bakalářské práce je promítnutí teorie kurikulárního procesu na oblast teoretických základů elektromagnetického pole v rámci edukace radiologických asistentů a případných dalších zájemců o radiologii.

Závěrem je uvedena citace z deníku Heinricha Hertze (1884), která potvrzuje, že studium fyziky není jednoduché.

27. ledna – Přemýšlím o elektromagnetickém záření.

11. května – Večer ponořen do Maxwellova elektromagnetismu

16. května – Celý den práce okolo elektromagnetismu.

8. července – Elektromagnetismus, stále bez úspěchu.

17. července – Krize, nemohu se pohnout z místa.

24. července – Ztratil jsem chuť do práce.

7. srpna – Z Riesova díla Friction Electricity (Třecí elektřina) vidím, že většina toho, co jsem dosud zjistil, je už dávno známa. [7]

6 Seznam informačních zdrojů

1. ZÁŠKODNÝ, Přemysl a Helena ZÁŠKODNÁ. *Metodologie vědeckého výzkumu: methodology of scientific research*. 1st. ed. Praha: Curriculum, 2014, 1 online zdroj (204 s.). ISBN 978-80-87894-03-3.
2. Metodický portál inspirace a zkušenosti učitelů. *Kurikulum*. [online]. 2011 [cit. 2015-12-20]. Dostupné z: http://wiki.rvp.cz/Knihovna/1.Pedagogicky_lexikon/K/Kurikulum
3. MAŇÁK, Josef, JANÍK, Tomáš a ŠVEC, Vlastimil. *Kurikulum v současné škole*. Brno: Paido, 2008.
4. ZÁŠKODNÝ, Přemysl. *Kurikulární proces fyziky (s přehledem základů teoretické fyziky)*. Ostrava: ALGORITMUS, 2009. ISBN 978-80-902491-0-3.
5. KVASNICA, Jozef. *Teorie elektromagnetického pole*. Praha: Academia, 1985 (452 s.). ISBN 21-081-85.
6. MAYER, Daniel. *Aplikovaný elektromagnetismus*. České Budějovice: KOPP, 2012 (538 s.). ISBN 978-80-7232-436-1.
7. BODANIS, David. *Neviditelná síla Svět elektřiny*. Praha: Dokořán, s.r.o., 2009 (254 s.). ISBN 978-80-7363-185-7.
8. Aldebaran. *Elektřina a magnetismus*. [online]. 2007 [cit. 2015-12-25]. Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/elmg/index.html>
9. LEPIL, Oldřich, BEDNAŘÍK, Milan a HÝBLOVÁ, Radmila. *Fyzika pro střední školy*. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2001. Učebnice pro střední školy (Prometheus). ISBN 80-7196-185-X.
10. ZÁŠKODNÝ, Přemysl. *Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii)*. Bratislava: DIDAKTIS, 2005 (264 s.). ISBN 80-89160-25-5.

11. ZÁŠKODNÝ, Přemysl a P. PROCHÁZKA. *Survey of Principles of Theoretical Physics (with Application to Radiology)*. Praha: Curriculum, 2014. 339 s. ISBN 978-80-87894-02-6.
12. REICHL, Jaroslav, VŠETIČKA, Martin. *Multimediální encyklopedie fyziky. Čtyři silové interakce v přehledu* [online]. © 2006-2016 [cit. 2015-12-25]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/894-ctyri-silove-interakce-v-prehledu>
13. LEPIL, Oldřich, ŠEDIVÝ, Přemysl. *Fyzika pro gymnázia: elektřina a magnetismus*. 5., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2000, 342 s. ISBN 80-7196-202-3.
14. TAYLOR, Charles, POPLE, Stephen. *OXFORD Školní encyklopedie Věda*. Praha: Svojtka a Vašut, 1997, 192 s. ISBN 80-7180-150-X.
15. Wikipedie: Otevřená encyklopedie. *Elektrický náboj* [online]. 2003 [cit. 2015-12-25]. Dostupné z www: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_n%C3%A1boj
16. Wikipedie: Otevřená encyklopedie. *Pohybová rovnice* [online]. 2006 [cit. 2015-12-25]. Dostupné z www: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pohybov%C3%A1_rovnice
17. *Fyzika: univerzální příručka pro maturanty a uchazeče o studium na vys. školách*. Praha: Orfeus, 1992. Přehledy středoškolského učiva. ISBN 80-85522-20-9.
18. Ústav teoretické fyziky MFF UK: Přednášky z elmg. pole. *Analytická mechanika* [online]. 2010-05-15 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: <http://utf.mff.cuni.cz/~jobdr/download/0-FyM-3.pdf>
19. REICHL, Jaroslav, VŠETIČKA, Martin. *Multimediální encyklopedie fyziky. Hamiltonův formalismus* [online]. © 2006-2016 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1256-hamiltonuv-formalismus>

20. Katedra fyziky Přf OU informace studentům. *Vybrané kapitoly z mechaniky: Příloha 140_VYPRM 05.doc* [online] 2005 [cit. 2015-12-28] Článek ve formátu DOC. Dostupné z:
<http://artemis.osu.cz:8080/artemis/view.php?ids=10&idr=93&idc=140>
21. Sbíрка řešených úloh. Fyzika. Teoretická mechanika. *Hmotný bod v různých souřadnicích*. [online] 2016-02-03 [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <http://reseneulohy.cz/1236/hmotny-bod-v-ruznych-souradnicich>
22. KALUS, René, HRIVŇÁK, Daniel. *Breviář vyšší matematiky*. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita, 2001. 132 s. ISBN 80-7042-819-8.
23. MŮLLER, Lukáš. *Chcete se dostat na lékařskou fakultu?* Brno: Institut vzdělávání SOKARTES, s.r.o., 2009 (213 s.). ISBN 978-80-86572-55-0.
24. LANK Vladimír, VONDRA Miroslav. *Fyzika v kostce pro SŠ*. Praha: FRAGMENT, 2007 (184 s.). ISBN 978-80-253-0228-6.
25. Katedra fyziky povrchů a plazmatu. Index of/ kpff/ skripta: kurz_fyziky_pro_DS. *Průvodce kurzy fyziky*. [online] 2008-03-10 [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/www/fyzika.html
26. BÍLKOVÁ, Alena, BERAN, Theodor. *Základy kvantitativních metod v ekonomii*. Praha: Univerzita Jana Amose Komenského, 2008. 164 s. ISBN 978-80-86723-62-4.
27. Pravděpodobnost a statistika. *Statistický soubor s jedním argumentem* [online]. 2014-1114 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z:
<http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/KAP07/KAP07.HTM>
28. CYHELSKÝ, Lubomír, KOHOUTOVÁ, Jana, HINDLS, Richard. *Elementární statistická analýza*. Praha: Management Press, Ringier ČR, a.s., 1996. 303s. ISBN 80-85943-18-2.
29. HENDL, Jan. *Přehled statistických metod*. Praha: Portál, s.r.o., 2009. 696 s. ISBN 978-80-7367-482-3.

30. KOZLOVSKÁ, Dagmar, FREITINGER SKALICKÁ Zuzana, ZÁŠKODNÝ, Přemysl. *Úvod do praktika z radiologické fyziky*. České Budějovice: ZSF JU, 2005. ISBN 80-7040-797-2.
31. ZÁŠKODNÝ, P. et al. *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)*. Praha: CURRICULUM, 2013. ISBN 978-80-904948-2-4.
32. BERÁNEK, Ladislav. Základy statistiky. Chi2-test – popis. [online]. [cit. 2016-03-06]. PowerPointová prezentace na webových stránkách Moodle - výukový systém Zdravotně sociální fakulty JCU. Dostupné po přihlášení na:
<http://moodle.zsf.jcu.cz/course/view.php?id=843>
33. Wikipedie: Otevřená encyklopedie. *Testování statistických hypotéz* [online]. 2006 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z www:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Testov%C3%A1n%C3%AD_statistick%C3%BDch_hypot%C3%A9z
34. ZÁŠKODNÝ, Přemysl a Helena ZÁŠKODNÁ. *Metodologie vědeckého výzkumu: methodology of scientific research*. 1st. ed. Praha: Curriculum, 2014, 1 online zdroj (204 s.). ISBN 978-80-87894-03-3.

7 Seznam obrázků a grafů

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Spektrum elektromagnetického pole..... | 20 |
| Obrázek 2: Grafické znázornění polohového vektoru v kartézské soustavě souřadnic.. | 25 |
| Obrázek 3: Příklad zřídla částic a k němu přiřazenému toku tekutiny | 31 |
| Obrázek 4: Příklad cirkulující tekutiny..... | 31 |
| Obrázek 5: Různé formy elektromagnetického pole podle jeho závislosti na čase..... | 38 |
| Obrázek 6: Graf absolutních četností..... | 49 |
| Obrázek 7: Graf relativních četností | 50 |
| Obrázek 8: Graf kumulativních četností..... | 50 |
| Obrázek 9: Spojité vystižení empirické distribuce | 52 |
| Obrázek 10: Ilustrace porovnání teoretických a experimentálních hodnot | 59 |
| Obrázek 11: Počet bodů za jednotlivé otázky v % - všechny testy | 61 |
| Obrázek 12: Polygon absolutních četností pouze za testy v písemné podobě..... | 62 |
| Obrázek 13: Počet bodů za jednotlivé otázky v % - písemné vs. elektronické testy..... | 63 |
| Obrázek 14: Spektrum elektromagnetického pole..... | 73 |
| Obrázek 15: Grafické znázornění polohového vektoru v kartézské soustavě souřadnic | 77 |
| Obrázek 16: Příklad zřídla částic a k němu přiřazenému toku tekutiny | 79 |
| Obrázek 17: Příklad cirkulující tekutiny..... | 80 |

8 Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Elementární statistické zpracování | 49 |
| Tabulka 2: Hodnoty pro neparametrické testování hypotéz | 52 |
| Tabulka 3: Tabulka hodnot pro Pearsonův test dobré shody | 53 |
| Tabulka 4: Tabulka hodnot pro Pearsonův test dobré shody po úpravě | 54 |
| Tabulka 5: Vybrané ukazatele z dotazníků | 62 |

9 Přílohy

9.1 Příloha 1

Přehled ionizujících a neionizujících záření a vlnění používaných v radiologii

| | | |
|---|---|-----------------------------------|
| a) Gama záření (nepřímo ionizující záření, ionizace absorpcí fotonu) | | |
| Vlnová délka: | $10^{-13} - 10^{-12}$ m | Frekvence: $10^{20} - 10^{21}$ Hz |
| Přírodní zdroj: | Přechody v jádře atomu | |
| Umělý zdroj: | Urychlovače, radioizotopy | |
| Detekce: | Plynové, jiskrové, scintilační detektory | |
| Oblast radiologie: | Nukleární medicína | |
| b) Rentgenové záření (nepřímo ionizující záření, ionizace absorpcí fotonu) | | |
| Vlnová délka: | 10^{-10} m | Frekvence: 10^{18} Hz |
| Přírodní zdroj: | Přechody v obalu atomu | |
| Umělý zdroj: | Rentgenka | |
| Detekce: | Plynové, krystalové, scintilační, fotochemické detektory | |
| Oblast radiologie: | Rentgenová diagnostika (rentgen, výpočetní tomografie), Rentgenová terapie | |
| c) Infráčervené záření (neionizující záření) | | |
| Vlnová délka: | 10^{-5} m | Frekvence: 10^{13} Hz |
| Přírodní zdroj: | Vibrace a rotace molekul | |
| Umělý zdroj: | Tělesa s teplotou vyšší než 0 K | |
| Detekce: | Radiotermometry, termokamery | |
| Oblast radiologie: | Termografie | |
| d) Rádiové vlny (neionizující záření) | | |
| Vlnová délka: | $10^0 - 10^4$ m | Frekvence: $10^4 - 10^8$ Hz |
| Přírodní zdroj: | Pohyb téměř volných elektronů | |
| Umělý zdroj: | Vysílač vysokofrekvenčního elektromagnetického signálu | |
| Detekce: | Přijímač vysokofrekvenčního elektromagnetického signálu | |
| Oblast radiologie: | Nukleární magnetická rezonance | |
| e) Ultrazvukové vlny (mechanické vlnění) | | |
| Vlnová délka: | 10^{-3} m | Frekvence: $10^6 - 10^7$ Hz |
| Přírodní zdroj: | Chvění těles | |
| Umělý zdroj: | Magnetostrikční a piezoelektrický oscilátor | |
| Detekce: | Magnetostrikční a piezoelektrický oscilátor | |
| Oblast radiologie: | Sonografie | |
| f) Korpuskulární záření (přímo a nepřímo ionizující záření, ionizace nárazem) | | |
| Vlnová délka: | de Broglieova vlnová délka $\lambda = h / mv$ | Frekvence: $\nu = mc^2 / h$ |
| Přírodní zdroj: | Přirozeně radioaktivní prvky | |
| Umělý zdroj: | Uměle radioaktivní prvky, urychlovače | |
| Detekce: | Plynové, jiskrové, krystalové, scintilační detektory | |
| Oblast radiologie: | Nukleární medicína, radioterapie | |

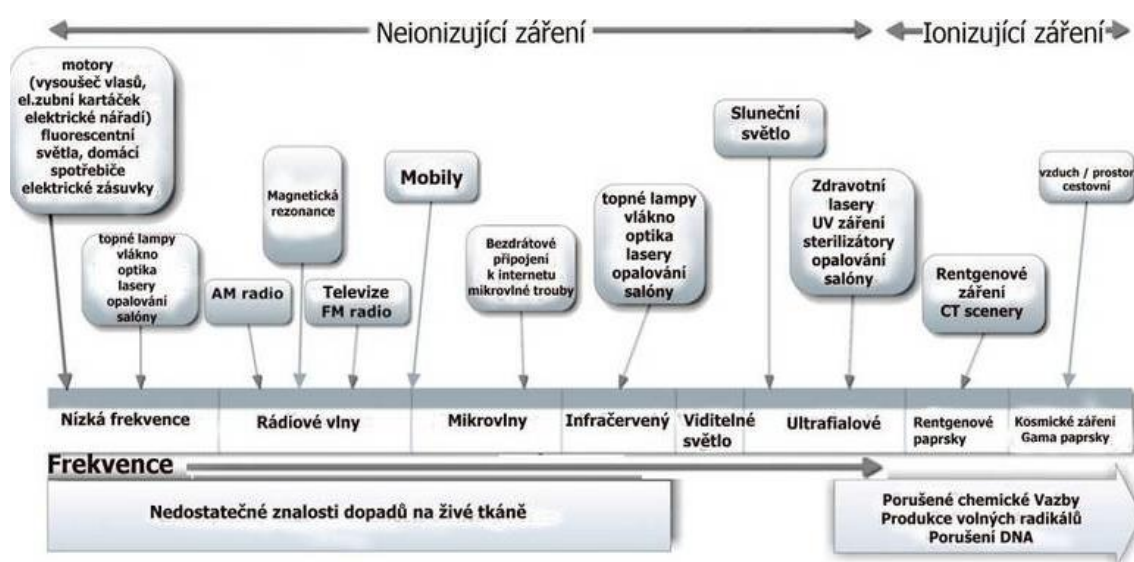
Zdroj: ZÁŠKODNÝ, P. Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii).
Bratislava: DIDAKTIS, 2005. ISBN 80-89160-25-5.

9.2 Příloha 2

Edukační text pro teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty

Úvod pro teorii elektromagnetického pole pro radiologické asistenty

Společným jmenovatelem fyzikální podstaty radiologie je teorie elektromagnetického pole. Pro nefyzikální laický pohled si elektromagnetické pole můžeme přiblížit Obrázkem 1. Veškeré přístrojové vybavení na oddělení radiologie a radiodiagnostiky (ultrazvuky, lineární urychlovače, magnetické rezonance, rentgenové přístroje,...) svojí funkcí vytváří elektromagnetické pole, které jako důsledek jaderných přeměn vzniká i v nukleární medicíně (vyzařování elektromagnetického záření). [10]



Obrázek 14: Spektrum elektromagnetického pole

zdroj: NOVÁK Ivo. *Účinky elektromagnetického pole na lidský organismus* [on line]. [cit. 2015-11-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1801-elektromagneticke-pole-a-zdravotni-rizika-i>

Průkopníkem představy o elektromagnetickém poli jako nositeli a zprostředkovateli elektromagnetických interakcí byl Michael Faraday (1791-1867). Domníval se, že nestačí zkoumat samotné elektrické náboje, magnety, proudovodiče apod., ale je nutno zkoumat i vlastnosti jisté hypotetické látky – nazývala se „éterem“ – která vyplňuje jejich okolní prostor. Podle Faradayovy představy na sebe objekty působí

prostřednictvím tohoto „éteru“ a to konečnou rychlostí. Označení éter bylo později nahrazeno výstižnějším názvem „elektromagnetické pole“. [5, 6]

Faraday ke svým poznatkům dospěl geniálními experimenty, ale protože nebyl matematicky vzdělán, vyjadřoval své objevy výhradně verbálně. Soustavu rovnic elektromagnetického pole zformuloval skotský fyzik James C. Maxwell (1831-1879) - zobecnil a matematicky formuloval Faradayovy výsledky a sám odvodil nejdůležitější důsledek svých rovnic: **elektromagnetický rozruch se šíří od místa k místu a šíří se konečnou rychlostí - rychlostí světla**. Tím byla předpověděna existence elektromagnetických vln (roku 1887 potvrzeno Heinrichem Hertzem). [5, 6, 8, 9]

Maxwellova teorie elektromagnetického pole je **fenomenologická a makroskopická**, neboť je založena na pozorovatelných makroskopických jevech (fenoménech; respektive Maxwell odvodil své teoretické rovnice z praktických pozorování Faradaye). Klasická Maxwellova teorie má omezení: platí jen pro látková prostředí v klidu. Lze ji snadno **zobecnit na pohybující se systémy, ale pro nerelativistické rychlosti**. Na základě speciální teorie relativity formulované v r. 1905 Albertem Einsteinem byla počátkem 20. století vybudována teorie elektromagnetického pole i pro soustavy, které se pohybují relativistickými rychlostmi – relativistická elektrodynamika. [6]

Statistická a nestatistická fyzika

Fyzika zkoumá na základě vzájemného působení látek a polí stavy u statisticky a nestatisticky pojatých fyzikálních objektů a změny těchto stavů. Kritériem pro rozlišení statistického a nestatistického přístupu je počet zkoumaných objektů. [11]

Nestatistická fyzika zkoumá **jeden fyzikální objekt nebo soustavu několika fyzikálních objektů**. Na základě experimentálních zkušeností získaných experimentální fyzikou vychází z aplikace pojmů především diferenciálního, integrálního, variačního a operátorového počtu na zkoumání pohybových stavů a jejich změn u objektů makrosvětla (obecně objekty pozorovatelné smysly), mikrosvětla (pozorovány elektronovými a iontovými dalekohledy) a megasvětla (pozorovány nejsilnějšími optickými dalekohledy nebo experimentálně dokázány). Nestatistická fyzika si zavádí

pojem **pohybové rovnice** jako vyjádření **příčin pohybu** a kinematický pojem **pohybového zákona** jako popisu **pohybového stavu**. [10]

Statistická fyzika se zabývá zkoumáním **fyzikálního objektu složeného z obrovského počtu dílčích fyzikálních objektů** nebo přímo **obrovský počet dílčích fyzikálních objektů** (makrosystémy). Základem jsou **experimentální zkušenosti** získané experimentální fyzikou vycházející z aplikace pojmů matematické statistiky a počtu pravděpodobnosti na zkoumání termodynamických stavů a jejich změn. [10]

Statistická i nestatistická fyzika mají svou variantu klasickou, kvantovou (je uplatňován vlnově korpuskulární dualismus) a relativistickou (prostor a čas závisí na rozložení a pohybu fyzikálních objektů). **Kvantová i relativistická dimenze neumožňují** na rozdíl od dimenze klasické „**přímé**“ **pozorování** zkoumaných fyzikálních objektů. Jejich existenci lze většinou dokázat nepřímými experimentálními metodami na teoretických představách a odvozených abstraktními úvahami. **Klasická dimenze** nestatistického přístupu je spojena s **používáním klasických pohybových rovnic** a klasických pohybových zákonů při zkoumání pohybových stavů velkého počtu klasických částic pohybujících se **uspořádaným pohybem**, například vlnění.

Elektromagnetické pole můžeme tedy pojmut (dle výše uvedených teoretických popisů) jako **klasický a nestatisticky pojatý fyzikální objekt**. [10]

Základní fyzikální síly

V úvodu textu bylo uvedeno, že **Maxwellovy rovnice potvrdily existenci elektromagnetických vln**, tedy že **objekty na sebe navzájem působí** silou jednoduše **díky svojí přítomnosti**. [8] V současné době známe čtyři druhy vzájemných interakcí (vzájemné působení částic – základní síly; elementární formy silového působení):

- **silná interakce** – silná jaderná síla - tato interakce je zodpovědná za jaderné síly, které drží pohromadě jádro atomu. (Silná síla odpovědná za to, že objekty (hvězdy, lidé,...) jsou těžké - většina hmotnosti objektu je soustředěna v atomovém jádru.).
- **elektromagnetická interakce** (síla) - působí mezi všemi nabitými částicemi, způsobuje elektromagnetické jevy. Její velikost je nulová v nekonečné

vzdálenosti od nabité částice. Tato interakce fixuje velikost atomů, strukturu látky, způsobuje vazbu mezi elektronem a jádrem. Elmg. síla vytváří objem objektů.

- **slabá interakce** – slabá jaderná síla - jedná o interakci, která způsobuje β rozpad. Podléhají jí částice, které nejsou nabitě (např. neutrina). Bez této interakce by se příroda obešla: 95 % částic by se jen přestala rozpadat.
- **gravitační síla (G)** - ve světě částic je její účinek zanedbatelně malý, význam je dominantní pro astronomii - drží pohromadě soustavy nebeských těles, formuje hvězdy. Gravitační interakci nelze žádným způsobem odstínit. Malý účinek této interakce v mikrosvětě je dán malou hmotností (resp. klidovou hmotností) objektů mikrosvěta. Je zanedbatelná ve srovnání s jinými působícími silami. [10,12]

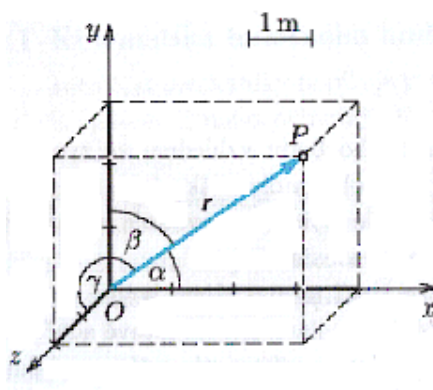
Elektromagnetické síly jsou „pojivem“, které drží atomy pohromadě, tj. drží elektrony v blízkosti protonů a vážou atomy dohromady v látkách. Tato „**Pauliho**“ síla je kvantově mechanického původu a zabraňuje nábojům, aby se zhroutily všechny do jednoho bodu. Má původ v Pauliho vylučovacím principu (souvisí se **spinem** – **vnitřním momentem hybnosti** elementárních částic – v atomu nemohou existovat dva elektrony se stejnými kvantovými čísly). **Pauliho síla** působící mezi částicemi je **odpudivou odpovědí látky na přitažlivou elektrostatickou sílu** – udržuje záporně a kladně nabitě částice od sebe v konečných vzdálenostech. [8,9]

Bodový náboj, polohový vektor

Bodový náboj je analogií pojmu hmotného bodu v mechanice. Hmotný bod je objekt, u kterého zanedbáváme jeho tvar a velikost, ale počítáme s jeho hmotností a rychlostí (pohybem) a také určíme jeho polohu.

Pokud chceme popsat pohyb tělesa je potřeba **určit vztažné těleso**, k němuž je určována poloha. **Polohu** zkoumaného hmotného bodu **je možné určit pomocí polohového vektoru** \vec{r} , který lze zapsat pomocí jednotkových vektorů $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ souřadnicových os x, y, z ve tvarech $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ $\vec{r}(x, y, z)$,

kde x, y, z jsou souřadnice koncového bodu polohového vektoru \vec{r} (počáteční bod leží vždy v počátku vztažné souřadnicové soustavy). Jednotkové vektory (s délkou 1) a leží v souřadnicových osách. Jejich souřadnice jsou $\mathbf{i} = (1,0,0)$, $\mathbf{j} = (0,1,0)$, $\mathbf{k} = (0,0,1)$.



Obrázek 15: Grafické znázornění polohového vektoru v kartézské soustavě souřadnic

Zdroj: Prezentace 3. KINEMATIKA.ppt [on line]. [cit. 2015-12-25]. Dostupné z: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:rvphYQvNewcJ:mail.gvm.cz/people/vrana/vyuka/Fyzika/4.%2520ro%25C4%258Dn%25C3%25ADk/Maturitn%25C3>.

Polohový vektor a jeho souřadnice x, y, z jsou funkcemi času a množina koncových bodů polohového vektoru vytváří trajektorii hmotného bodu. Mluvíme-li o **trajektorii**, **popisujeme pohyb**, tedy **kinematiku** a pro jeho zákonitost je **vzorcem pohybový zákon**. Polohový vektor je jako soubor koncových bodů – dráha – funkcí času.

$$\vec{r} = \vec{r}(t)$$

Pokud hledáme **příčinu tohoto pohybu**, jde o **dynamiku** a charakteristikou je **pohybová rovnice**. Příčinou pohybu je určitá síla \vec{F} , pohybová rovnice je tedy rovna zákonu síly. Známý druhý Newtonův zákon

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m \cdot \ddot{\vec{r}}$$

kde m je hmotnost tělesa násobená druhou časovou derivací vektoru polohy \vec{r} , nebo-li zrychlení. Řešením pohybové rovnice je poloha tělesa v libovolném okamžiku. V kvantové mechanice (pravděpodobnostní teorii), je výsledkem časově proměnná vlnová funkce. Řešení obvykle není jednoznačné, protože v daném prostředí se lze pohybovat více způsoby. **Pohyb je určen** jednoznačně teprve po **stanovení tzv. počátečních podmínek**, například počáteční polohy a rychlosti tělesa. [10,16]

Vektorová a analytická mechanika

Mechanika při matematicko-fyzikálním popisu jevů a dějů, kterými se zabývá, uplatňuje dva základní přístupy:

- **vektorovou mechaniku** - při popisu se využívají vektory (viz výše popis polohového vektoru $\vec{r} = \mathbf{r}(t) = \{x(t), y(t), z(t)\}$ zadaného v kartézské soustavě souřadnic)
- **analytickou mechaniku** - základními veličinami, kterými se mechanika popisuje, jsou práce, kinetická energie, ...obecně tedy skaláry. Pohybové rovnice získáme derivováním skalárů podle vhodných souřadnic. Tento přístup uplatňovali Euler, Lagrange (**Lagrangeův formalismus**), Hamilton (**Hamiltonův formalismus**) a další. Pomocí těchto postupů lze provést zobecnění určitých jevů a posunout se ve fyzice mimo mechanické obory. Poloha je určována pomocí **zobecněných souřadnic** q_i , vhodných pro popis konfigurace soustavy. Pohyb soustavy – změna konfigurace koncových bodů zkoumaného objektu – je zjišťována **pomocí vhodného principu** – vztahu, který nám umožní zjistit časový vývoj nejen jediné částice, ale co nejobecněji fyzikální soustavy. [12,18]

Existují tak např. tzv. **Lagrangeovy rovnice 2. druhu**, se kterými lze odvodit Lorentzovu sílu (díky Lagrangeově funkci L náboje Q v konstantním poli; kdy po dosazení za L do Lagrangeových rovnic 2. druhu lze získat souhrnný tvar pro všechny tři pohybové rovnice $m \cdot \ddot{\vec{r}} = Q \cdot \vec{E} + Q(\vec{v} \times \vec{B})$). [10]

Operátor nabra, operace s vektory (zřídla, víry), definice pole

Operátor nabra je symbolický operátor, který se značí ∇ a zavádí se takto

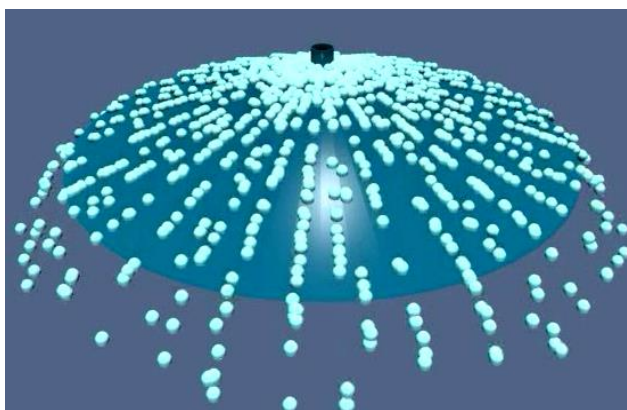
$$\nabla \equiv \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z} = \nabla \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

Formálně se jedná o **vektor, jehož složkami jsou symboly parciálních derivací** podle kartézských souřadnic x, y, z . Nejedná se o operátor v pravém slova smyslu (není dán předpis, jak tento operátor aplikovat ani jeho definiční obor). V tom je ale právě

jeho přednost, protože se ukazuje, že pomocí nabla operátoru se dají elegantně vyjádřit všechny dříve uvedené diferenciální operátory. Bude-li tento symbolický vektor spojen

- s vektorem stojícím **napravo** od něj **skalárním součinem**, bude jeho aplikace nazvána **divergencí** a označena div .
- s vektorem stojícím **napravo** od něj **vektorovým součinem**, bude jeho aplikace nazvána **rotací** a označena rot . [10]

Pole je zobrazení, které každému bodu prostoru přiřadí dané hodnoty. **Skalární pole** je pole, které každému bodu v prostoru **přiřazuje jedno číslo**. **Vektorové pole** každému bodu v prostoru **přiřazuje vektor**. [8]

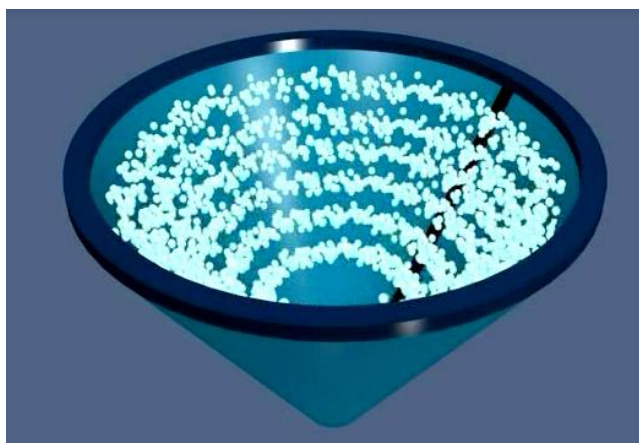


Obrázek 16: Příklad zřídla částic a k němu přiřazenému toku tekutiny

Zdroj: Zřídlo částic. [on line]. [cit. 2015-12-29]. **Dostupné z:** http://www.aldebaran.cz/elmg/vizualizace_vekt.html#ParticleSource

Velmi zjednodušeně si lze graficky představit vektorové pole, pokud použijeme operátor **divergence** – **zřídlo** a operátor **rotace** – **vír** (obrázky 3 a 4). **Zřídla** lze hledat u všech silových polí jako místa, z nichž **vycházejí nebo do nichž vcházejí otevřené silokřivky příslušného pole**. **Víry** pak jako místa, která jsou „**obkroužena**“ **uzavřenými silokřivkami**.

Hledání zřidel a vírů elektromagnetického pole je **hledání míst**, která jsou **zdrojem „změn“ stavu pole**. Elektrické pole směřuje ke zřídlovosti, magnetické pole zřídla mít nebude. Charakteristickým znakem vírových polí je, že nemají klasický zdroj, ale vystupují jako doprovodná pole polí zřídlových. [10,22]



Obrázek 17: Příklad cirkulující tekutiny

Zdroj: Tok kroužících částic. [on line]. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/elmg/vizualizace_vekt.html#ParticleCircular

Základní pojmy teorie elektromagnetického pole

Nedělitelnými složkami elektromagnetického pole je pole elektrické a pole magnetické; je rozloženo v prostoru a může se měnit s časem. Samostatně o nich mluvíme pouze, když se za určitých podmínek projevuje jen jedna složka a druhá je potlačena. Je to škála elektromagnetického vlnění o dvou složkách (elektrická a magnetická), vlnění je příčné a šíří se vakuem rychlostí $c = 299792458$ m/s (rychlost světla). Mezi frekvencí kmitání, vlnovou délkou a rychlostí šíření lze nalézt vztah:

$$c = \lambda \cdot f, \quad \text{kde } \lambda \text{ je vlnová délka a } f \text{ je frekvence vlnění.}$$

Níže uvádím stručný přehled veličin používaných v teorii elektromagnetického pole a jejich jednotek (v soustavě SI). [6, 22]

- **Elektrický náboj Q** - skalární fyzikální veličina, jednotou je coulomb [C].
- **Elektrický proud I** - skalární (základní) fyzikální veličina, jednotou je ampér [A].
- **Intenzita elektrického pole \vec{E}** – jednotkou je volt na metr [V/m]. $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q}$
- **Magnetická indukce \vec{B}** - jednotkou je tesla [T]. $\vec{F}_m = Q(\vec{v} \times \vec{B})$
- **Lorentzova síla** – je síla, kterou působí elektromagnetické pole na částici s nábojem Q , pohybující se rychlostí \vec{v} . Jednotkou je newton [N]. Řečeno obráceně – **na**

částici, která se nachází v elektrickém i magnetickém poli působí Lorentzova

síla:
$$\vec{F}_{elmg} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = Q \cdot \vec{E} + Q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Intenzita elektrického pole E a magnetická indukce B jsou základními veličinami, které charakterizují elektromagnetické pole. Je-li **ve vakuu**, jsou tyto veličiny postačující. **V látkovém prostředí** zavádíme ještě dvě další vektorové veličiny:

➤ **Elektrická indukce \vec{D}** – je s vektorem intenzity elektrického pole E vázána vztahem

$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$, kde ϵ (epsilon) je veličina charakterizující elektrické vlastnosti prostředí a nazývá se (absolutní) permitivita, vyjádřená vztahem $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$. Permitivita vakua ϵ_0 je fyzikální přesně stanovená konstanta, nejde o měřenou hodnotu. Veličina ϵ_r - relativní permitivita je látková konstanta vyjadřující kolikrát se elektrická síla zmenší v případě, že tělesa s elektrickým nábojem jsou místo ve vakuu umístěna v látkovém prostředí (hodnota závisí na vlastnostech látky).

➤ **Intenzita magnetického pole \vec{H}** - je s vektorem magnetické indukce \vec{B} vázána

vztahem $\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B}$, kde μ (mí) je veličina charakterizující magnetické vlastnosti prostředí a nazývá se permeabilita. Permeabilita vyjadřuje vliv (zeslabující, zesilující, neutrální) určitého materiálu nebo prostředí na výsledné účinky působícího magnetického pole. Permeabilitu, stejně jako permitivitu, známe absolutní, vakua a relativní, s hodnotou v závislosti na látkovém prostředí. [6]

Maxwellovy rovnice elektromagnetického pole

Na základě výše uvedených základních pojmů a po seznámení se s teorií zříděl a vírů elektrických a magnetických polí, bude dále elektromagnetické pole popsáno pomocí Maxwellovy teorie elektromagnetického pole. V rámci fenomenologické a makroskopicky pojaté teorii lze proud i náboj považovat za spojitě rozložené. V souvislosti s tím, je však nutné zavést veličiny hodnota hustota náboje ρ , hustota vodivého proudu \vec{i} a hustota Maxwellova proudu.

Hustota náboje ρ - uvažujme těleso libovolného tvaru o objemu V , které je v klidu vůči dané inerciální soustavě. Předpokládejme, že toto těleso nese náboj Q , jehož rozložení po celém objemu tělesa je časově neproměnné. Okamžitě můžeme definovat střední objemovou hustotu náboje jako poměr

$$\rho = \frac{Q}{V}.$$

Hustota vodivého proudu \vec{i} (proudová hustota, někde značena \vec{J}) – vyjadřuje náboj, který projde za 1 s jednotkovou plochou průřezu vodiče a je definována vztahem

$$\vec{i} = \vec{J} = \frac{I}{S}.$$

Maxwellův proud - Maxwellův proud nesouvisí přímo s pohybem nábojů, ale s časovou změnou elektrického pole. Je pokračování vodivého proudu v izolantu a lze jej vyjádřit vztahem $\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$. Vzniká při časové změně elektrického pole. Vodivý proud „Ampérův“ elektrický proud I je spojen s pohybem volných nábojů, Maxwellův proud s pohybem vázaných nábojů (s polarizací dielektrika). [6,10,12,25]

Za předpokladu $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r, \mu = \mu_0 \mu_r$ můžeme přistoupit k formulaci Maxwellových rovnic - **matematickým popisem analýzy zřídlovosti a vírovosti elektrického a magnetického pole (míst kde došlo ke změně stavu pole)** prostřednictvím operátorů divergence a rotace.

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad \text{zřídlem elektrického pole je elektrický náboj}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad \text{magnetické pole je nezřídlové; nemá náboj}$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{vírem elektrického pole je proměnné magnetické pole}$$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i} + \varepsilon \mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad \text{víry magnetického pole jsou vodivý a Maxwellův proud}$$

$$(\mu \vec{i} \text{ je pohyb volného náboje, } \varepsilon \mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \text{ je pohyb vázaného náboje) \quad [10]$$

Maxwellovy rovnice pro různé stavy elektromagnetického pole („elmg. pole“)

Maxwellovy rovnice platí pro popis různých stavů elektromagnetického pole. Při popisu nestacionárních stavů je omezující podmínkou předpoklad platnosti Maxwellových rovnic – rychlosti nábojů jsou malé ve srovnání s rychlostí světla. [10]

- **Statické stavy elmg. pole** – jsou spojeny s nepohyblivými náboji. Zřídlem je elektrický náboj, magnetické pole neexistuje. S tímto stavem je spojeno elektrické uzemnění. Z hlediska radiologie – **nukleární medicína**.

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = 0, \operatorname{rot} \vec{B} = 0$$

- **Stacionární stavy elmg. pole** – jsou spojeny s ustáleným pohybem náboje v jednom směru (stejnoseměrný proud). Zřídlem je elektrický náboj, objevuje se (vírové) magnetické pole. Často lze mluvit o konstantním elmg. poli. Z hlediska radiologie – **detekce, dozimetrie ionizujícího záření** (Geiger-Müllerův počítač).

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = 0, \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i}$$

- **Kvazistacionární stavy elmg. pole** – jsou spojeny s pomalými změnami směru pohybu částic s nízkofrekvenčním střídavým proudem. Zřídlem je elektrický náboj, existuje vírové magnetické pole, které lze zanedbat, objevuje se vírové elektrické pole, proměnné s časem. Z hlediska praxe – **generátory elektrického proudu**, obecně všechny elektrospotřebiče, elektromotory.

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i}$$

- **Nestacionární stavy elmg. pole** – jsou spojeny s rychlými změnami směru pohybu částic s vysokofrekvenčním střídavým proudem. Zřídlem elektrického pole je elektrický náboj, magnetické pole je nezřídlové, vírem elektrického pole je proměnné magnetické pole a víry magnetického pole jsou vodivý a Maxwellův proud. **Sonografie a magnetická rezonance** (velmi rychlé změny).

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i} + \varepsilon \mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

9.3 Příloha 3

Test znalostí

1. Elektromagnetické může být záření
 - a) pouze neionizující
 - b) pouze ionizující
 - c) neionizující i ionizující

2. Statistická fyzika zkoumá
 - a) jeden fyzikální objekt nebo soustavu několika fyzikálních objektů
 - b) fyzikální objekt složený z množství dílčích fyzikálních objektů
 - c) nezkoumá, pouze se zabývá statistickým vyhodnocováním výsledků

3. Přímé pozorování jevů lze uplatnit ve fyzice
 - a) klasické
 - b) kvantové
 - c) relativistické

4. Elektromagnetické pole je fyzikální objekt pojatý
 - a) klasický a statistický
 - b) kvantový a statistický
 - c) klasický a nestatistický
 - d) kvantový a nestatistický

5. Hovoříme-li u elementární částice o spinu, hovoříme o jeho
 - a) umístění v určité vrstvě v atomu
 - b) momentu vnitřní hybnosti
 - c) průměru

6. Mluvíme-li o trajektorii, popisujeme pohyb (kinematiku); vzorcem je
- pohybová rovnice
 - pohybový zákon
 - zákon zachování hybnosti
7. Hledáme-li příčinu pohybu hmotného bodu, tedy dynamiku, je vzorcem
- pohybová rovnice
 - pohybový zákon
 - zákon zachování hybnosti
8. Aplikace symbolického operátoru nabla ∇ se nazve divergence - zřídlo (div), pokud bude symbolický vektor spojen
- s vektorem stojícím napravo od něj vektorovým součtem
 - s vektorem stojícím napravo od něj vektorovým součinem
 - s vektorem stojícím napravo od něj skalárním součinem
9. Aplikace symbolického operátoru nabla ∇ se nazve rotace – vír (rot), pokud bude symbolický vektor spojen
- s vektorem stojícím napravo od něj vektorovým součtem
 - s vektorem stojícím napravo od něj vektorovým součinem
 - s vektorem stojícím napravo od něj skalárním součinem
10. Hledání zřidel a vírů elektromagnetického pole je hledání míst, která
- již nejsou „postižena“ vyvolanou změnou pole
 - jsou zdrojem stability pole
 - jsou zdrojem „změn“ stavu pole
11. Intenzita elektrického pole E je charakterizována jako veličina
- vektorová, definovaná jako síla F působící na jednotkový bodový náboj Q
 - skalární, definovaná jako síla F působící na jednotkový bodový náboj Q

12. Na částici, která se nachází v elektrickém i magnetickém poli působí
- Maxwellova síla
 - Lorentzova síla
 - odstředivá síla
13. Veličina relativní permitivita je látková konstanta vyjadřující
- Kolikrát se elektrická síla zvětší v případě, že tělesa s elektrickým nábojem jsou místo ve vakuu umístěna v látkovém prostředí
 - Kolikrát se elektrická síla zvětší nebo zmenší v případě, že tělesa s elektrickým nábojem jsou místo ve vakuu umístěna v látkovém prostředí
 - Kolikrát se elektrická síla zmenší v případě, že tělesa s elektrickým nábojem jsou místo ve vakuu umístěna v látkovém prostředí
14. Veličina μ charakterizuje magnetické vlastnosti prostředí a nazývá se
- permeabilita
 - permibilita
 - permitivita
15. Pro elektrický proud I a Maxwellův proud platí
- elektrický proud I je spojen s pohybem vázaných nábojů, Maxwellův proud s pohybem volných nábojů
 - elektrický proud I je spojen s pohybem volných nábojů, Maxwellův proud s pohybem vázaných nábojů
 - elektrický proud I je spojen s polarizací dielektrika, Maxwellův proud s pohybem vázaných nábojů
16. Maxwellova rovnice $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$ popisuje, že
- zřídlem elektrického pole je elektrický náboj
 - vírem elektrického pole je elektrický náboj

17. Maxwellova rovnice $\operatorname{div} \vec{B} = 0$ popisuje, že
- Zřídlo elektrického pole neexistuje
 - Zřídlo magnetického pole neexistuje
18. Maxwellova rovnice $\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ popisuje, že
- vírem elektrického pole je proměnné magnetické pole
 - zřídlem elektrického pole je proměnné magnetické pole
 - zřídlem magnetického pole je proměnné elektrické pole
19. Maxwellova rovnice $\operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i} + \varepsilon \mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ popisuje, že
- víry magnetického pole jsou vodivý a Maxwellův proud
 - zřídla magnetického pole jsou vodivý a Maxwellův proud
20. Stav elektromagnetického pole vyjádřený níže uvedenými Maxwellovými rovnicemi můžeme z hlediska radiologie zařadit do oblasti
- $$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = 0, \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i}$$
- nukleární medicíny
 - detekce, dozimetrie ionizujícího záření
 - sonografie a magnetické rezonance
21. Stav elektromagnetického pole vyjádřený níže uvedenými Maxwellovými rovnicemi můžeme z hlediska radiologie zařadit do oblasti
- $$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = 0, \operatorname{rot} \vec{B} = 0$$
- nukleární medicíny
 - detekce, dozimetrie ionizujícího záření
 - sonografie a magnetické rezonance

22. Najděte správné Maxwellovy rovnice pro následující popis stavu elektromagnetického pole: zřídlem je elektrický náboj, existuje vírové magnetické pole, které lze zanedbat, objevuje se vírové elektrické pole, proměnné s časem

a) $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = 0, \operatorname{rot} \vec{B} = 0$

b) $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = 0, \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i}$

c) $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i}$

d) $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{i} + \varepsilon \mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$