

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Zdravotně sociální fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

Marek Vodvářka

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta

Fyzikální principy relativistického lineárního urychlovače pro radiologické asistenty

bakalářská práce

Autor práce: Marek Vodvářka
Studijní program: Specializace ve zdravotnictví
Studijní obor: Radiologický asistent
Vedoucí práce: Doc. RNDr. Přemysl Záškodný, CSc.

Datum odevzdání práce: 15. 8. 2013

Abstrakt

Jako vybraná teorie přenosu poznatků z vědecké radiologické fyziky (v oblasti fyzikálních základů relativistického lineárního urychlovače) ke studentům radiologických oborů byla použita teorie kurikulárního procesu. Tato teorie byla ve světě formulovaná např. M. Paschem, T. G. Gardnerem, M. Certonem, M. Gaylovou, v České a Slovenské republice např. J. Průchou, J. Brockmeyerovou, P. Tarábkem, P. Záškodným.

Na základě teorie kurikulárního procesu lze také v oblasti radiologické fyziky definovat kurikulární proces jako posloupnost transformací T1-T5 variantních forem kurikula:

"Konceptuální kurikulum" jako sdělitelný vědecký systém radiologické fyziky (první variantní forma kurikula jako výstup transformace T1 od vědeckého systému ke sdělitelnému vědeckému systému).

"Zamýšlené kurikulum" jako vzdělávací systém radiologické fyziky (druhá variantní forma kurikula jako výstup transformace T2 od sdělitelného vědeckého systému ke vzdělávacímu systému).

"Projektové kurikulum" jako vzdělávací projekt radiologické fyziky (třetí variantní forma kurikula jako výstup transformace T3 od vzdělávacího systému k výukovému projektu).

"Implementované kurikulum-1" jako připravenost pedagoga na vzdělávání v radiologické fyzice (čtvrtá variantní forma kurikula jako první výstup transformace T4 od výukového projektu k realizaci výuky).

"Implementované kurikulum-2" jako výsledky vzdělávání v radiologické fyzice (pátá variantní forma kurikula jako druhý výstup transformace T4 od výukového projektu k realizaci výuky).

"dosažené kurikulum" jako použitelné výsledky vzdělávání v radiologické fyzice (šestá variantní forma kurikula jako výstup transformace T5 od realizace výuky k uplatnění dosažených výsledků výuky).[1]

V bakalářské práci byly v oblasti fyzikálních základů relativistického lineárního urychlovače použity transformace mezi zamýšleným kurikulem, projektovým

kurikulem, implementovaným kurikulem-1 a implementovaným kurikulem-2. Tyto transformace byly uskutečněny prostřednictvím vazeb mezi edukačním textem, experimentální výukou, přípravou na experimentální výuku a položením edukačního testu studentům radiologických oborů ke zjištění výsledků experimentální výuky v oblasti fyzikálních základů relativistického lineárního urychlovače.

K ověřování hypotéz bakalářské práce byly použity vedle metod deskriptivní statistiky také metody statistiky matematické: neparametrické testování a dvojvýběrový t-test. Neparametrické testování bylo použito pro test normality znalostí dosažených experimentální výukou. Dvojvýběrový t-test byl použit k porovnání znalostí z oblasti fyzikálních základů relativistického lineárního urychlovače u studentů prezenčního a kombinovaného studia.

Bakalářská práce vycházela z ověřování dvou hypotéz:

a) přiměřený edukační text v oblasti fyzikálních základů relativistického lineárního urychlovače lze vytvořit aplikací kurikulárního procesu

b) znalosti studentů v oblasti fyzikálních základů relativistického lineárního urychlovače získané na základě vypracovaného edukačního textu budou mít normální rozdělení

Obě tyto hypotézy byly následně potvrzeny statistickým zpracováním výsledků, které byly získány experimentální výukou a položením edukačního testu studentům. Rovněž byla potvrzena dílčí hypotéza, že mezi znalostmi studentů prezenčního a kombinovaného studia nebude na hladině statistické významnosti 0,05 statisticky významný rozdíl.

Abstract

As the selected theory of transfer of knowledge from the scientific radiological physics (in the sphere of physical bases of relativistic linear accelerator) to students of radiological branches the theory of curricular process was used.

This theory was formulated in the world by M. Pasche, T. G. Gardner, M. Certon, M. Gayl, in the Czech and Slovak Republics by J. Průcha, J. Brockmeyerová, P. Tarábek, P. Záškodný.

On the base of the curriculum process theory, in the sphere of radiological physics curriculum process can be defined as a sequence of transformations T1-T5 variant forms of curriculum:

"Conceptual curriculum" as a communicable scientific system of radiological physics (first variant form of curriculum as transformation T1 output from a scientific system to a communicable scientific system).

"Intended curriculum" as an educational system of radiological physics (second variant form of curriculum as transformation T2 output from a communicable scientific system to an educational system).

"Project curriculum" as an instructional project of radiological physics (third variant form of curriculum as transformation T3 output from an educational system to a teaching project).

"Implemented curriculum-1" as the preparedness of educator to education in radiological physics (fourth variant form of curriculum as the first transformation T4 output from an educational project to implementation of teaching).

"Implemented curriculum-2" as the results of education in radiological physics (fifth variant form of curriculum as the second transformation T4 output from an educational project to implementation of teaching).

"Attained curriculum" as applicable results of education in radiological physics (sixth variant form of curriculum transformation T5 output from implementation of teaching to application of the results of teaching).

In this thesis, in the sphere of physical bases of relativistic linear accelerator the transformation between the intended curriculum, project curriculum, implemented

curriculum-1 and implemented curriculum-2 were used. These transformations were carried out by binds between educating text, experimental teaching, preparation for experimental teaching and placing of educational test to students of radiological branches to find out the results of experimental teaching in the sphere of physical bases of relativistic linear accelerator.

In order to prove the hypotheses of the bachelor thesis, methods of mathematical statistics apart from methods of descriptive statistics were used:

Nonparametric tests and two sample t-test. Nonparametric test was used to test the normality of knowledge acquired by experimental teaching. Two-sample t-test was used to compare the knowledge from the sphere of physical bases of relativistic linear accelerator in students of full-time and part-time study programme.

The bachelor thesis was based on the verification of two hypotheses:

a) an adequate educational text in the sphere of physical bases of relativistic linear accelerator can be created by application of curriculum process

b) students' knowledge in the sphere of physical bases of relativistic linear accelerator acquired on the base of worked out educational text will have normal distribution.

Both of these hypotheses were confirmed by statistical processing of the results which were obtained by experimental teaching and by placing of educational test to students.

Partial hypothesis was also confirmed that knowledge between full-time students and part-time students will not be statistically different on the level of statistical significance 0.05.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval(a) 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 (datum)

.....

(jméno a příjmení)

Poděkování:

Děkuji Doc. RNDr. Přemyslu Záškodnému, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky.

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Současný stav.....	12
2.1 Vlastní publikace	12
2.2 Didaktická komunikace fyziky	13
2.2.1 Všeobecné zásady didaktiky.....	13
2.2.2 Teorie kurikulárního procesu	13
2.3 Vzdělávání radiologických asistentů v zahraničí.....	17
2.3.1 Německé školství.....	18
2.3.2 USA	21
2.3.3 Kanadské školství	24
2.3.4 Velká Británie	26
2.4 Současná výuka radiologických asistentů – české školství	28
2.5 Studijní podklady pro lineární urychlovače.....	28
2.6 Aplikace statistických metod	29
3. Cíl práce	34
4. Hypotézy	34
5. Popis metodiky práce.....	35
6. Výsledky	38
6.1 Edukační text	38
6.2 Statistické zpracování výsledků měření.....	55
7. Diskuze	65
8. Závěr	68
9. Literatura.....	70
10. Přílohy.....	75

1. Úvod

Vzhledem k tomu, že v současnosti je poměrně obtížné nalézt jednoduchý edukační text týkající se fyzikálních základů klasického lineárního urychlovače, jehož úroveň by byla přiměřená znalostem studentů oboru Radiologický asistent a který by byl zároveň volně k dispozici, byla na uvedenou problematiku zaměřena tato bakalářská práce.

V rámci analýzy současné problematiky došlo ke stručnému porovnání dostupnosti studijních materiálů pro zahraniční a české studenty. Analýza zahraničních zdrojů též posloužila k získání podkladů, díky nimž mohl být vytvořen český edukační text.

Práce si stanovuje tři cíle:

- Výběr přenosu vědeckých poznatků na úroveň uvedených studijních oborů
- Vytvoření edukačního textu z hlediska možností adresátů
- Experimentální ověření edukačního textu z hlediska možností adresátů

Bylo předpokládáno, že vhodnou aplikací teorie kurikulárního procesu lze vytvořit srozumitelný edukační text pro radiologické asistenty a že následně získané znalosti studentů budou mít po ověření normální rozdělení.

Součástí metodiky práce bude jednak analýza současného vědeckého systému, poté vytvoření vlastního edukačního textu a jeho ověření experimentální výukou. Na závěr dojde k ověření získaných znalostí studentů položením testu a získaná data budou statisticky vyhodnocena.

Za předpokladu potvrzení hypotéz práce by bylo možné její další využití jako výukového materiálu pro studenty oboru Radiologický asistent a dalších příbuzných oborů.

2. Současný stav

2.1 Vlastní publikace

V roce 2011 byl vytvořen článek týkající se relativistického lineárního urychlovače a pohybu relativistického elektronu v elektrostatickém poli. Tento text vycházející ze sdělitelného vědeckého systému radiologické fyziky byl přeložen do anglického jazyka a předložen organizačnímu výboru CONFERENCE OEDM SERM 2011. Příspěvek byl přijat a následně publikován ve sborníku mezinárodní konference PROCEEDINGS (2011), Praha: Curriculum ISBN 978-80-904948.

Tento článek byl jakýmsi prvotním impulsem k uvažování o vytvoření edukačního textu pro radiologické asistenty a další příbuzné obory a také této bakalářské práce. Po uvědomění si, že v současnosti není volně dostupný jednoduchý edukační text týkající se fyzikálních základů lineárních urychlovačů v českém jazyce, započala práce na vytvoření tohoto edukačního textu, který navazuje na „Conceptual curriculum“, čili na již publikovaný příspěvek na CONFERENCE OEDM SERM 2011. Vznikl druhý článek, ve kterém je pokračováno v aplikaci teorie kurikulárního procesu. Článek je připravován k publikování v rámci mezinárodní konference OEDM SERM 2012. Oba články byly přepracovány do podoby přizpůsobené možnostem adresátů. Postupně vzniklo „Intended curriculum“ (zamýšlené kurikulum), „Projected curriculum“ (projektové kurikulum) a „Implemented curriculum - 2“ (implementované kurikulum).

Tato bakalářská práce je v podstatě pokusem, jak za pomoci aplikace teorie kurikulárního procesu vytvořit vhodný sdělitelný text, který bude odpovídat znalostem a možnostem studentů.

2.2 Didaktická komunikace fyziky

Vytvoření edukačního textu a následné odpřednášení studentům oboru Radiologický asistent si vyžádalo částečnou přípravu ohledně didaktiky a správného podání vyučované látky.

2.2.1 Všeobecné zásady didaktiky

Značný vliv na úspěšnost přenosu poznatků na studenty má vlastní přístup vyučujícího a jeho forma podání edukačního textu při přednášce. Existují mnohé publikace zabývající se komunikací učitele se studenty. V řadě z nich nalezneme různá doporučení od vhodných gest, mimiky či tónu hlasu až po oblečení vyučujícího.

V didaktice fyziky je pro pochopení učiva podstatná redukce vědeckého obsahu. Musíme však dbát na správnou formulaci, aby nedošlo ke zkreslení závěrů. Teorie by měla být také podložena vhodnými ilustrativními materiály jako například schémata, obrázky a pokusy. [18][19][20]

2.2.2 Teorie kurikulárního procesu

Před samotným vytvořením edukačního textu bylo nutné nejprve zvolit vhodnou teorii přenosu vědeckých poznatků na sdělitelnou úroveň pro radiologické asistenty.

Kurikulární proces jako algoritmizace didaktické komunikace

„Posloupnost postupně transformovatelných variantních forem kurikula lze nazvat kurikulárním procesem přírodní vědy (Záškodný, 2009).

Kurikulární proces přírodní vědy respektuje anglo-americkou tradici zkoumání obsahu edukace a vazbu této tradice především na edukační vědu (pedagogiku).

Didaktická komunikace přírodní vědy, která je na vstupech a výstupech transformací T1 až T5 totožná s variantními formami kurikula, pak respektuje

evropskou tradici zkoumání obsahu edukace a vazbu této tradice na konkrétní přírodní vědu.

Lze se domnívat, že termín „kurikulární proces“ obě tradice sblíží a umožňuje spolupráci kurikulárního pojetí didaktiky přírodních věd (např. pedagogická teorie obsahu edukace „Content Pedagogy“ W.Doyle) s komunikačním pojetím didaktiky přírodních věd (např. teorie didaktické komunikace podle J.Brockmeyerové).“ [1]

Konceptuální kurikulum

Do konceptuálního kurikula lze zařadit článek, který jsem publikoval na konferenci OEDM SERM 2011 nazvaný „How to explain the relativistic principle of the linear accelerator (Relativistic electron in an electrostatic field)“.

Sdělitelný vědecký systém přírodní vědy – konceptuální kurikulum

„Vědecký systém přírodní vědy (někdy také vědecké kurikulum) je transformován transformací T1 na sdělitelný vědecký systém přírodní vědy (konceptuální kurikulum), který je srozumitelný tvůrcům didaktického systému, výukového projektu a učebnic.

Součástí transformace T1 je didaktická transformace DT1, která transformuje vědecký pojmově poznatkový systém na komunikativní vědecký pojmově poznatkový systém.

Transformace T1 byla P.Tarábkem (Záškodný, 2009) nazvána komunikační transformací.“ [1]

Zamýšlené kurikulum

Navazujícím krokem bylo vytvoření edukačního textu neboli „intended curriculum“.

Didaktický systém přírodní vědy a jeho učivo – zamýšlené kurikulum

„Vstupní znalosti edukantů, jejich kognitivní úroveň, formy jejich prekonceptů musí být brány do úvahy při další transformaci T2 sdělitelného systému přírodní vědy (konceptuálního kurikula) na didaktický systém přírodní vědy (zamýšlené kurikulum).

To vyžaduje důkladný výzkum v této oblasti, neboť jeho výstupy pak ovlivňují didaktickou transformaci DT2 (viz termín „Didaktická znalost obsahu“ – CPV, 2009). Didaktická transformace DT2 transformuje komunikativní vědecký pojmově poznatkový systém na didaktický pojmově poznatkový systém, který představuje učivo didaktického systému přírodní vědy.

Současná didaktika přírodních věd v rámci požadavků znalostní společnosti na vzdělání absolventů zdůrazňuje změny v koncepci vzdělávání, jehož obsah by měl být orientován nejen na vědecké a odborné poznatky, ale také na poznávací modely vědních a technických disciplin jako nástroje vytváření strukturovaných komplexů poznatků a "expertního" řešení problémů (Hestenesovy modely a Wiemanovy závěry uváděné P.Tarábkem v Tarábek, Záškodný, 2008-2009).

Jsou-li ve východiskové koncepci vzdělávání respektovány vývojové linie poznávání ve vědě jako výsledky transformace T1, pak je snáze proveditelná adaptace poznávacích postupů vědy na poznávací modely v učivu didaktického systému přírodní vědy jako výsledky transformace T2.

Transformace T2 byla P.Tarábkem (Záškodný, 2009) nazvána obsahovou transformací.“ [1]

Projektové a implementované kurikulum

„Projected curriculum“ a „implemented curriculum-1“ se týká samotného procesu výuky, konkrétně v této práci jde o mou experimentální přednášku studentům prvního ročníku oboru Radiologický asistent a přípravu na tuto přednášku.

Učebnice a připravenost edukátora na výuku – projektové kurikulum a implementované kurikulum-1

„Transformace T3 didaktického systému přírodní vědy (zamýšleného kurikula přírodní vědy a jeho učiva) na výukový projekt přírodní vědy (projekční kurikulum přírodní vědy a jeho učebnice) a na kvalitní přípravu edukátora na výuku (implementované kurikulum-1) byla P. Tarábkem nazvána (Záškodný, 2009)

kurikulární transformací – název transformace je odvozen od faktu, že realizace této transformace úzce souvisí s tvorbou školního i národního kurikula.

Jsou-li k dispozici výsledky transformace T2, lze je promítnout do modelování výukového projektu přírodní vědy – lze napsat dobře strukturovanou učebnici a lze kvalitně připravit edukátora na výuku a tím dosáhnou potřebných výsledků transformace T3. Edukantům je pak umožněno učení poznáváním (opět Hestenesovy modely a Wiemanovy závěry uváděné P.Tarábkem v práci Tarábek, Záškodný, 2008-2009).“ [1]

Implementované a dosažené kurikulum

„Implemented curriculum-2“ a „attained curriculum“ se týkají výsledků, kterých bylo dosaženo, položení testu studentům, jeho následného vyhodnocování a snahy o potvrzení hypotéz.

Výsledky edukace a jejich aplikovatelnost – implementované kurikulum-2 a dosažené kurikulum

„Transformace T4 je transformací projektového kurikula (výukového projektu přírodní vědy) a implementovaného kurikula-1 (připravenosti edukátora na edukaci) na implementované kurikulum-2 (výsledky edukace).

Transformace T4 byla P.Tarábkem (Záškodný, 2009) nazvána edukační transformací a její uskutečnění je spojeno s výukou.

Transformace T5 je transformací implementovaného kurikula-2 (výsledky edukace) na dosažené kurikulum (aplikovatelné výsledky edukace).

Transformace T5 byla opět P.Tarábkem (Záškodný, 2009) nazvána aplikační transformací a její uskutečnění je spojeno se zjišťováním použitelnosti výsledků výuky.

Aplikační transformace T5 je členěna podle charakteru aplikovatelnosti na transformace T5a a T5b (podle P.Tarábka, Tarábek, Záškodný, 2008-2009). Transformace T5a transformuje výstupy edukace na aplikovatelné výstupy edukace významné pro edukanta. Transformace T5b transformuje výstupy edukace na aplikovatelné výstupy edukace jako efekty edukace významné pro celou společnost.

Transformace T5 vyjadřuje důslednou zpětnou vazbu, která propojuje výstupy edukace (tj. výsledky výuky jako výstupy transformace T4 a jako implementované kurikulum-2) a efekty edukace (tj. aplikovatelné výsledky výuky jako výstupy transformace T5 a jako dosažené kurikulum) s kvalitou a obsahem edukačního systému.

Požadavek zpětné vazby vyjádřené transformací T5 ukazuje současně směr dalších didaktických výzkumů v diagnostice a evaluaci výstupů edukace, které se doposud zabývají pouze výstupy, zřídka však aplikovanými výstupy edukace a už vůbec ne efekty edukace v propojení na edukační systém.

Data Processing implementovaného kurikula-2 (jak zjistit osvojené učivo edukantem) a dosaženého kurikula (jak zjistit aplikovatelnost osvojeného učiva) byl předložen v práci P.Záškodného (2009, část C citované publikace, 16. a 17.kapitola).“
[1]

2.3 Vzdělávání radiologických asistentů v zahraničí

Vysoké školství ve světě se někdy poměrně značně liší od vysokého školství v České republice. Samozřejmě záleží na konkrétní zemi a oblasti. Ačkoli jsou vysoké školy v naší republice na poměrně dobré úrovni, oproti jiným vyspělým státům pořád ještě v některých ohledech zaostávají.

Jedná se především o dostupnost studijních materiálů, která je částečně ovlivněna tím, že i čeští autoři své vědecké práce a edukační texty publikují především v angličtině. V tomto ohledu jsou na tom zahraniční studenti lépe, neboť ve většině vyspělých zemí mají větší přístup ke studijním materiálům ve svém rodném jazyce, což jim značnou měrou ulehčuje studium. V porovnání se světem je bohužel v České republice i poměrně malá dostupnost publikací cizojazyčných. V dnešní době internetové sítě se ve světě značně rozšiřují různé volně přístupné online kurzy, které studenti naleznou přímo na stránkách jednotlivých univerzit. Při hledání podkladů pro vytvoření edukačního textu pro radiologické asistenty jsem byl nucen se z velké části zaměřit na hledání zahraničních zdrojů a bylo též nutné se zorientovat ve struktuře vzdělávání na zahraničních univerzitách.

2.3.1 Německé školství

Německo nemá jednotný školský systém. Ve státě existuje šestnáct vzdělávacích systémů v jednotlivých spolkových zemích. Jejich osnovy se v těchto státech liší. Centrální řízení federální vládou je omezeno pouze na regulaci a koordinaci profesní přípravy a vědeckého výzkumu. Stát podporuje také rozvoj vysokých škol a stipendií. Jinak mají školství ve své kompetenci zemské orgány a úřady, federální vláda jejich činnost koordinuje a vytváří jakýsi společný rámec. Vedle sebe zde fungují jak školy státní, tak soukromé a církevní. Všechny tyto školy v jednotlivých státech tvoří vlastní rámec vzdělávání, který musí respektovat široký spolkový rámec. Pro všechny spolkové země je stejná délka povinné školní docházky, zajištění návaznosti všech stupňů, označení vzdělávacích zařízení, vzájemné uznávání.

Typy vysokoškolského studia v Německu

Univerzity - mezi univerzitní obory patří medicína, přírodní vědy, technické vědy, humanitní vědy, právo, teologie, ekonomie, sociální vědy, pedagogika a zemědělské a lesnické vědy. Univerzity umožňují specializaci i v úzce vymezených oblastech určité vědy. Studium na univerzitě má svá pevná pravidla, ale ponechává - a to především ve vyšších semestrech - velké možnosti volby a nenutí do striktního rozvrhu.

Technické univerzity - na některých se dají studovat i „humanitní“ obory, přesto je jejich těžištěm studium technických oborů.

Nestátní univerzity - existují různé soukromé, ale i církevní školy s úzkou specializací. Za studium na nich se, pochopitelně, platí.

Vysoké školy umělecké - stejně jako u nás připravují budoucí umělce. Jsou většinou státní, nejčastěji hudebního směru. K jejich absolvování je samozřejmě nutné jisté nadání a pro přijetí musí uchazeč složit talentovou zkoušku.

Vyšší odborné školy (Fachhochschulen) - mají poměrně mladou tradici. Nemůžeme je zaměňovat s našimi VOŠ. Tyto školy v Německu, na rozdíl od České republiky, nabízejí plnohodnotné vysokoškolské studium s dosažením akademického titulu. Rozdíl mezi klasickou universitou a Fachhochschule je v pojetí studia. To je zde orientováno hlavně prakticky na výuku v menších skupinkách. Prázdniny bývají kratší než na univerzitách. Na vyšších odborných školách se nejen vyučuje, ale i bádá. Vědecký výzkum je zde zaměřen především na využití v praxi. Vyšší odborné školy připravují akademicky vzdělané absolventy s praxí v technických profesích, podnikovém hospodářství, v oblasti designu a v sociální oblasti. Obecně mají ovšem univerzity lepší zvuk.

Pedagogické školy/obory (Lehrämter) - Systém pedagogických škol je v Německu složitější než u nás. Podmínky studia se liší opět spolkový stát od státu. Platí, že na učitele můžete studovat na pedagogických školách nebo na univerzitách, kde pedagogické obory mají označení Lehramt. Školy se člení podle dalšího studentova působení. Zda bude učit na základní škole, gymnáziu, střední odborné škole a podobně. Druhu studia je pak přizpůsobená i délka studia. Studium zahrnuje kolem čtyř let a patří do něj i praktická část nebo stáž.

Obvyklá struktura vysokoškolského studia:

1. stupeň - Grundstudium - trvá minimálně dva roky, při studiu na Diplom je třeba na závěr složit zkoušku k získání Vordiplomu, při magisterském studiu se skládá Zwischenprüfung

2. stupeň - Hauptstudium - trvá dva až čtyři roky, na závěr je udělen Diplom (technické a ekonomické obory, sociální vědy) nebo titul Magister(a) Artium (humanitní obory); státní zkoušku musí složit ti, kteří chtějí pracovat ve státní správě nebo státem řízeném sektoru (učitelé, lékaři, právníci)

3. stupeň - *Aufbaustudium*, popř. *Ergänzungstudium* - trvá další dva roky, na závěr je možné promovat (pozor na rozdíl s českou promoci) a obdržet titul Doktor (pouze při studiu doktorandského studia na univerzitách)

Magister(a) Artium je tradičně první titul při studiu humanitních oborů, zkouška se skládá ze dvou hlavních, nebo jednoho hlavního a dvou vedlejších předmětů. Vždy musí obsahovat dvě části - písemná vědecká práce nebo klauzura a ústní zkouška. U oborů technického a ekonomického zaměření i sociálních věd je obdobou titulu *Magister(a) Artium Diplom*.

Pokud chcete studovat v Německu poté, co už jste započali studium v ČR, je nutné zjistit, co vám z dosavadního studia uznají - obraťte se na studijní oddělení vámi zvolené katedry, abyste zjistili, které přednášky z ČR vám uznají, popřípadě na děkanát fakulty, abyste zjistili, zda vám uznají tituly dosažené v ČR. Uznávání Německých titulů funguje tak, že si musíte najít školu v ČR s adekvátním studijním programem a zažádat o uznání titulu z Německa. Žádost pošlete na Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (MŠMT), které vystaví potvrzení o dosažení titulu. Podle MŠMT by měly být uznány tituly ze všech státních německých vysokých škol, ke kterým jsou adekvátní studijní programy i v České republice. [11][13][14]

Příklad radiologického studijního programu:

Schule für Technische Assistenten in der Medizin (Köln)

Studijní program – MTRA (Medizinisch-technische Assistenten Radiologie)

- tříleté studium lékařsko-technického asistenta na katedře radiologie zakončené státní závěrečnou zkouškou
- seznámení s oblastmi:
 - Radiologie a zobrazovací metody a jiné zobrazovací metody
 - Zpracování obrazu v radiologii
 - Radioterapie

Nukleární medicína

Radiační fyzika, dozimetrie a radiační ochrany

Elektrodiagnostika

- praktický výcvik probíhá na příslušných odděleních Fakultní nemocnice v Kolíně nad Rýnem

- požadavky na přijetí:

Důkazy o středním vzdělávání nebo vzdělání rovnocenné úrovně

Dobré známky z přírodovědných předmětů

Pro úspěšné absolvování výběrového řízení

Lékaře osvědčení o způsobilosti

Doklad o očkování proti hepatitidě B [12]

2.3.2 USA

Ve Spojených státech amerických se nachází mnoho prestižních vysokých škol. Studenti, kteří absolvují střední školu, si mohou zvolit, jakou vysokou školu nebo univerzitu budou navštěvovat. Podle statistik amerického ministerstva školství existuje v USA více než 7000 institucí vysokoškolského vzdělávání s 15 miliony studentů. Z toho podstatnou část tvoří zahraniční studenti.

Post-sekundární vzdělávání ve Spojených státech je známo jako „college“ (kolej – nezaměňovat s českým ubytovacím zařízením) nebo „university“ (univerzita). Většinou se jedná o čtyřleté studium na instituci vyššího vzdělávání. Školy se zde liší ve své konkurenceschopnosti a pověsti. Obecně jsou školy soukromé považovány za prestižnější nežli veřejné. Velká univerzita se zpravidla skládá z několika kolejí nabízejících pestrou škálu studijních programů zakončených *master's degree* (ekvivalent magisterského titulu). Dále ji tvoří jedna nebo více tzv. profesionálních škol (lékařská, právnická, obchodní) a jedno či více výzkumných pracovišť (Američané často používají slovo „college“ jako zjednodušený výraz jak pro kolej, tak pro univerzitu). Zhruba 25 % kolejí a univerzit je v USA řízeno církevními institucemi. Dále existuje celá řada soukromých institucí necírkevního charakteru.

Neexistuje žádný jednoznačný rozdíl mezi kvalitou studia na veřejných a soukromých vysokých školách. Neznamená to ovšem, že všechny školy jsou na srovnatelné úrovni. Absolventi prestižních institucí jsou i nadále ve výrazně výhodnější pozici při hledání zaměstnání, než jejich konkurenti z méně renomovaných škol. Jak je patrné z výše uvedeného, je pestrost a variabilita systémů vyššího vzdělávání ve Spojených státech obrovská. Od toho se odvíjejí také stupně vzdělání, kterých je možné dosáhnout. Dělí se do zhruba následujících kategorií:

1. *associate degree* - odpovídá zhruba titulu diplomovaný specialista, udělovanému v ČR na vyšších odborných školách
2. *bachelor's degree* - ekvivalent bakalářského titulu v ČR
3. *master's degree* - ekvivalent magisterského titulu v ČR
4. *doctorate (PhD)* - ekvivalent tzv. velkého doktorátu, dříve CSc.
5. Studia vedoucí k dosažení *associate degree* či k titulu bakaláře se nazývají *undergraduate studies*, zatímco studia magisterská či doktorandská jsou tzv. *graduate studies*.

Požadavky na přijetí

Podmínky pro přijetí se velmi liší podle jednotlivých institucí. Typickou podmínkou je potřeba středoškolského diplomu nebo jeho ekvivalentu. Mnoho studijních programů vyžaduje absolvování vstupních testů, jako jsou SAT (Scholastic Aptitude Test) nebo ACT (American College Testing). Běžnou praxí také bývá, že instituce při hodnocení žadatelů bere v úvahu i jejich ročníkové práce, osobní zájmy a úspěchy.

On-line vzdělávání v USA

Důležitým trendem v USA je vysokoškolské vzdělávání, které využívá internetových technologií a systémů označovaných jako virtuální výukové prostředí

(VLEs). Tento typ vzdělávání, někdy známý jako distanční forma nebo jako e-learning, dává studentům značnou flexibilitu a umožňuje jim vzdálenou spolupráci s kolegy a instruktory. Odhaduje se, že zhruba dva miliony studentů v USA využívají možnosti on-line vysokoškolského vzdělávání. Jako součást tohoto trendu jsou zřizovány nové školy zaměřené pouze na on-line výuku a mnoho stávajících vysokých škol zavádí on-line programy.

Získání kvalifikace pro výkon povolání „X-ray technician“

Existuje celá řada možností, jak se stát radiologickým asistentem (technologem). Často není nutné získat univerzitní diplom, je možné si vybrat z mnoha vzdělávacích kurzů, z nichž některé lze dokončit již během šesti měsíců. Při hledání zaměstnání jsou však vždy upřednostňováni asistenti, kteří vlastní bakalářský či jiný titul. Pokud plánujete být zaměstnán jako radiologický technolog, ujistěte se raději, že škola je akreditovaná ARRT (American Registry of Radiologic Technologists). Na oficiálních webových stránkách ARRT je k dispozici kompletní seznam uznávaných akreditovaných univerzit.

Seznam akreditovaných škol:

- Sanford Brown College
- Carrington College
- Keiser University Campus

Většina škol nabízí buď bakalářský, nebo absolventský stupeň pro radiologické asistenty. Po absolvování těchto úrovní mají studenti možnost získat dále jeden z následujících titulů: Master of Science in Radiology Assistant, Master of Science in Radiologic Science: Radiologist Assistant, Master of Health Science in Radiologist Assistant, and Master of Imaging Sciences: Radiologist Assistant. [27][28][29][30][31]

2.3.3 Kanadské školství

Univerzity umožňují studentům získat titul, odborné diplomy a certifikáty, zatímco ostatní instituce zaměřené na pomaturitní studium, např. vyšší odborné školy, poskytují programy zakončené diplomem nebo certifikátem.

Studia zakončená diplomem a certifikátem

- nabízejí je vyšší odborné školy různých oborových zaměření
- zpravidla se požaduje ukončené středoškolské vzdělání
- studium zakončené diplomem trvá 1–3 roky a většinou bývá zaměřeno na určitý obor a zaměstnání, ať už technického či akademického zaměření
- studium zakončené certifikátem je jednoleté s možností přidání předmětů k získání certifikátu na pokročilé úrovni (advanced)
- některé instituce umožňují převedení kreditů a dokončení studia na univerzitě (a možnost získat tak titul)

Bakalářské studium

- k dispozici na univerzitách, univerzitních fakultách a institucích
- požaduje úspěšné ukončené středoškolské vzdělání
- studium k získání titulu většinou trvá 3–4 roky v závislosti na provincii a daném oboru
- diplomy a certifikáty je možné rovněž získat ve vybraných institucích
- titul Honours Bachelor je zpravidla udělován studentům s náročnějším programem či výbornými studijními výsledky

Postgraduální studium v Kanadě

Magisterské studium

- většinou dvouletý program na univerzitě
- účast v programu je zpravidla podmíněna úspěšným získáním bakalářského titulu či titulu Honours Bachelor
- MBA programy často k přijetí navíc požadují výsledky zkoušky GMAT® (Graduate Management Admissions Test) a předchozí pracovní zkušenosti ze studovaného oboru.
- ke studiu vědních oborů často k přijetí navíc potřebujete výsledky zkoušky GRE® (Graduate Record Exam)

Doktorandské studium

- minimální délka studia tři roky na univerzitě
- zpravidla se vyžaduje ukončené magisterské studium
- MBA programy často k přijetí navíc požadují výsledky zkoušky GMAT® (Graduate Management Admissions Test)
- ke studiu vědních oborů často k přijetí navíc potřebujete výsledky zkoušky GRE® (Graduate Record Exam)

Příklad radiologického studijního programu:

Dawson College (Quebec)

Studijní program – Diagnostic imaging

- diagnostické zobrazování je tříletý program v rámci radiační technologie
- studenti získají dovednosti v ovládnutí x-ray přístrojů a jiných druhů energií používaných k diagnostice onemocnění
- zaznamenávání obrazu na x-ray filmy a digitální paměťová média
- péče o pacienty podstupující vyšetření

- ve třetím ročníku získají studenti cenné klinické zkušenosti na přidružených zdravotnických zařízeních
- absolventi obdrží DCS (Diploma of College Studies), který je opravňuje k složení zkoušky OTIMRO (l'Ordre des technologues en imagerie médicale et en radio-du Québec oncologie), ti kteří ji úspěšně absolvují, stanou se registrovanými technologi a mohou pracovat po celé Kanadě i v mnoha jiných zemích [15]

2.3.4 Velká Británie

V Anglii, Walsu a Severním Irsku jsou vysokoškolské instituce nezávislé, samosprávné orgány činné ve výuce, výzkumu a vzdělanosti. Jsou ustanoveny tzv. „Royal Charter“ nebo právními předpisy a většina z nich je částečně financována vládou. V oblasti vysokoškolského vzdělání mají studenti ve Velké Británii k dispozici mnoho různých typů institucí. Kromě univerzit a vysokých škol, jejichž stanovy jsou prováděny prostřednictvím státní rady, která se radí s královnou o udělení „Royal Charters“ a začlenění univerzit, existuje také celá řada veřejných a autonomních institucí ve vysokoškolském sektoru. Veřejně financované vysokoškolské vzdělávání je k dispozici v některých školách sloužících k dalšímu vzdělávání ze strany orgánu jiné řádně pověřené instituce. Výuka připravující studenty pro udělování vysokoškolských kvalifikací může být prováděna v každé vysokoškolské instituci a v některých školách dalšího vzdělávání. [32]

Pravomoc udělování titulů a titul univerzitní

Všechny univerzity a mnoho vysokoškolských kolejí mají pravomoc rozvíjet své vlastní kurzy a udělovat své vlastní tituly. Stanovují také podmínky pro jejich udělení. Některé vysoké školy a specializované instituce bez těchto pravomocí nabízejí programy s různou měrou využití přeneseného orgánu, které vedou k získání jakéhosi stupně vzdělání či titulu této instituce. Všechny univerzity existující před rokem 2005

mají možnost udělovat tituly na základě absolvování teoretických kurzů a pravomoc udělovat výzkumné tituly. Tituly a další vysokoškolské kvalifikace jsou právním vlastnictvím udělující instituce, nikoli státu. [32]

Příklad radiologického studijního programu:

University of London

Diagnostická radiografie BSc

- Kvalifikace – BSc (Hons)
- Tříleté prezenční studium
- Studium rozděleno přibližně 50:50 mezi akademické studium a klinické praxe.
- Předmět zahrnuje základní témata biologických věd, přírodních věd a radiologické vědy a praxe spolu se specializovanými moduly relevantními pro diagnostické snímkování. Klinické vzdělávání je poskytováno fakultními a velkými okresními nemocnicemi.
- Výukové metody zahrnují přednášky, semináře, case-based learning, peer-assisted učení, simulované praktické a klinické zkušenosti.
- Hodnocení je prováděné na základě kombinace ročníkové práce (např. eseje, design plakátu a zprávy), písemné a praktické zkoušky, laického posouzení a výzkumné disertační práce v posledním roce.
- Tento titul vám také umožní studovat na postgraduální certifikát, diplom a magisterský stupeň rentgenové kvalifikace v oblasti pokročilé praxe a klinické specializaci. [16]

2.4 Současná výuka radiologických asistentů – české školství

Radiologickým asistentem se podle daného zákona stane člověk, který úspěšně absolvuje příslušný vzdělávací program. Jde o nelékařského zdravotnického pracovníka, který vykonává náročnou práci ve zdravotnických oborech. Pracovní uplatnění nalézá na odděleních radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny.

Odbornou způsobilost k výkonu svého povolání mohl radiologický asistent získat absolvováním akreditovaného bakalářského studijního programu, studiem třiletého oboru diplomovaný radiologický asistent na vyšších odborných školách zahájeným nejpozději ve školním roce 2004/2005. Získání odborné způsobilosti na střední zdravotnické škole bylo možné při zahájení studia nejpozději ve školním roce 1996/1997. Většina středoškolsky vzdělaných radiologických asistentů si v průběhu pracovní praxe dostudovala atestaci ve svém oboru.

V současné době zájemci o studium oboru radiologický asistent mají jedinou možnost, kterou je studium na vysoké škole a získání bakalářského titulu po úspěšném absolvování třiletého studijního programu. Na rozdíl od zahraničí u nás bohužel není možnost dalšího navazujícího studia. Studenti například v USA nebo Kanadě po získání bakalářského titulu mají poměrně široké spektrum možností případného dalšího vzdělávání a také získání dalších titulů ve svém oboru.

2.5 Studijní podklady pro lineární urychlovače

Co se týče české literatury a vzdělávacích zdrojů, není problém najít nepřehledné množství publikací, kde nalezneme zmínku o lineárních urychlovačích. Ve většině případů se bohužel jedná pouze o více či méně rozvinutou definici tohoto zařízení. Pokud jde o detailnější popis a fyzikální vysvětlení funkce, nalezené texty byly většinou nepřiměřeně odborné vzhledem k úrovni znalostí průměrného studenta začínajícího první ročník oboru radiologický asistent. Bylo tedy nutné zaměřit se na cizojazyčné zahraniční zdroje. Pro snazší hledání studijních podkladů, které následně posloužily

i k vytvoření českého edukačního textu, bylo nezbytné se zorientovat v systému vzdělávání na zahraničních vysokoškolských institucích.

2.6 Aplikace statistických metod

„Statistiku lze chápat nejméně ve třech pojetích. Jednak jako písemné údaje o hromadných jevech, dále jako praktickou činnost spočívající ve výběru, zpracování a vyhodnocování statistických údajů a konečně jako teoretickou disciplínu, která se zabývá metodami sloužícími k popisu odhalování zákonitostí při působení podstatných, relativně stálých činitelů, na hromadné jevy, tj. jevy vyskytující se v masovém měřítku u velkého počtu jedinců (prvků).“ [17]

Tato práce využívá více statistických metod, kterými zpracovává získané údaje.

„Vstupem do statistického šetření a do postupné realizace statistického projektu je rozhodnutí, zda je k dispozici jev, který má hodně výsledku a který je spojen s různými pravděpodobnostmi naměřených statistických dat. Takový jev je nazván hromadným náhodným jevem, jeho nositelem je tzv. statistická jednotka a statisticky šetřenou vlastností statistické jednotky je tzv. statistický znak. Množina všech statistických jednotek tvoří základní statistický soubor (neboli populaci spojenou s populačními charakteristikami), který je obvykle procesem náhodného výběru redukován na výběrový statistický soubor. Výběrový statistický soubor je spojen s výběrovými charakteristikami.“[4]

„Zkoumaný statistický znak má obvykle velké množství hodnot. Výčet hodnot statistického znaku neumožňuje zjistit, které hodnoty jsou více či méně pravděpodobné. Proto se přistupuje ke škálování, které rozčlení hodnoty statistického znaku do přiměřeného počtu skupin, které nesou název prvky škály. Popsaný postup členění hodnot statistického znaku na prvky škály tvoří druhou příčku algoritmu jednotlivých kroků a je současně druhou základní metodou deskriptivní statistiky nazvanou „Škálování“.“ [4]

„Maje k dispozici vhodnou škálu, vynoří se otázka, kolik statistických jednotek výběrového statistického souboru náleží k jednotlivým prvkům škály. Odpověď na tuto otázku tvoří třetí příčku algoritmu jednotlivých kroků statistického šetření a je současně třetí základní metodou deskriptivní statistiky nazvanou „Měření v deskriptivní statistice“. Po provedeném měření umožní deskriptivní statistika získat absolutní četnosti (počty statistických jednotek náležejících k jednotlivým prvkům škály), relativní četnosti a kumulativní četnosti.“ [4]

„Naměřené četnosti je zapotřebí zpracovat. Postup jejich zpracování tvoří čtvrtou příčku algoritmu jednotlivých kroků statistického šetření a je současně čtvrtou, poslední základní metodou deskriptivní statistiky nazvanou „Elementární statistické zpracování“.

V rámci této poslední základní metody deskriptivní statistiky je zpracována tabulka, jsou vykresleny grafy empirických rozdělení četností a jsou vypočítány empirické parametry empirických rozdělení. Mezi empirické parametry patří např. známý aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Nedílnou součástí „Elementárního statistického zpracování“ je interpretace vypočítaných empirických parametrů a vytvoření předpokladu pro implementaci 4 navazujících základních metod statistiky matematické.“[4]

„Cílem matematické statistiky je vyjadřovat výsledky deskriptivní statistiky vhodnými konstrukty odvozenými z teorie pravděpodobnosti a takto získané pravděpodobnostní konstrukty dále matematicky zpracovávat.“ [4]

„Prvním konstruktem odvozeným z teorie pravděpodobnosti je teoretické rozdělení. Podaří-li se empirické rozdělení četností nahradit teoretickým rozdělením náhodné veličiny (náhodná veličina je dobrou analogií statistického znaku), jsou pootevřena vrátka pro používání diferenciálního a integrálního počtu nebo některých možností diskrétní matematiky.

Nahrazování empirického rozdělení rozdělením teoretickým tvoří pátou příčku algoritmu jednotlivých kroků statistického šetření a současně první základní metodu matematické statistiky nazvanou „Neparametrické testování“. Bez objeveného teoretického rozdělení nemá v rámci výběrových charakteristik (tj. v rámci výběrového statistického souboru) obvykle smysl pokračovat dále v šetření statistického znaku jako zkoumané vlastnosti statistické jednotky.

V rámci populačních charakteristik (tj. v rámci základního statistického souboru) lze se značnou pravděpodobností předpokládat platnost často se vyskytujícího teoretického rozdělení – rozdělení normálního.“ [4]

„Druhým konstruktem odvozeným z teorie pravděpodobnosti jsou teoretické parametry, které jsou nedílnou součástí objeveného teoretického rozdělení. Bez odhadnutí hodnot teoretických parametrů nelze pootevřená vrátka pro využívání možností matematiky plně otevřít.

Odhadování teoretických parametrů tvoří šestou příčku algoritmu jednotlivých kroků statistického šetření a současně druhou základní metodu matematické statistiky nazvanou „Teorie odhadu“.“ [4]

„Třetím konstruktem odvozeným z teorie pravděpodobnosti je srovnávání odhadnutých teoretických parametrů probíhajícího statistického šetření s jinými teoretickými nebo empirickými parametry, které byly získány ze statistických šetření jiných. Srovnávání teoretických parametrů probíhajícího statistického šetření s jinými dosaženými výsledky tvoří sedmou příčku algoritmu jednotlivých kroků statistického šetření a současně třetí základní metodu matematické statistiky nazvanou „Parametrické testování“.“ [4]

„I v rámci čtvrté, poslední základní metody matematické statistiky lze využívat další konstrukty odvozené z teorie pravděpodobnosti, tentokrát již v přímé kombinaci s aplikacemi matematiky. V rámci této poslední základní metody matematické statistiky je reagováno na možnost, že u statistické jednotky nemusí být zkoumán jen jeden

statistický znak. Při zkoumání více statistických znaku je pracováno s vícerozměrným výběrovým statistickým souborem a je zjišťována možná závislost mezi např. dvěma statistickými znaky vybraných statistických jednotek. Zjišťování závislosti mezi např. dvěma statistickými znaky tvoří osmou a poslední příčku algoritmu jednotlivých kroků statistického šetření a je současně čtvrtou, poslední základní metodou matematické statistiky nazvanou „Měření statistických závislostí“. Jde o završení projektu statistického šetření a nejpoužívanějšími postupy je regresní a korelační analýza.“ [4]

Formulace statistického šetření – vymezení pojmů:

„Hromadný náhodný jev – HNJ

je realizace činností nebo procesů, jejichž výsledek nelze s jistotou předpovědět a které se odehrávají v rozsáhlé množině prvků (např. fyzikální měření). Tyto prvky mají určitou skupinu vlastností stejných (např. měření fyzikálních konstant) a další skupinu vlastností odlišných (např. fyzikální měření konkrétní fyzikální konstanty nebo jiných parametrů celkového fyzikálního stavu). Matematická statistika a teorie pravděpodobnosti se zabývají kvalitativní a kvantitativní analýzou zákonitostí hromadných náhodných jevů.

Statistická jednotka – SJ

je vymezená stejnými vlastnostmi prvků zkoumané množiny (např. fyzikální měření fyzikálních konstant).

Statistický znak – SZ

je dán některou z odlišných vlastností prvků zkoumané množiny (např. měření konkrétní fyzikální konstanty – Planckovy konstanty).

Hodnota statistického znaku – HSZ

je způsob popisu zkoumaného statistického znaku (např. pomocí naměřených hodnot Planckovy konstanty, případně pomocí prvků škály 1, 2, ... 5).

Základní statistický soubor – ZSS

je dán všemi statistickými jednotkami, jeho rozsah je roven počtu všech statistických jednotek. Obvykle není v praktických možnostech statistiků zkoumat statistický znak SZ u všech statistických jednotek SJ a je nutno přistoupit k omezení počtu statistických jednotek SJ.

Náhodný výběr – NV

je omezení počtu zkoumaných statistických jednotek SJ takovým způsobem, aby bylo možné přenášet získané výsledky na celý ZSS. Existují rozmanité způsoby náhodného výběru (losování, generování tabulkou náhodných čísel, záměrný výběr). Je potřebné ověřovat, zda je možno získaný výběr považovat za náhodný.

Výběrový statistický soubor – VSS

je dán těmi statistickými jednotkami, které byly vybrány ze základního statistického souboru procesem náhodného výběru. Rozsah VSS je roven počtu vybraných statistických jednotek. Výběrový statistický soubor VSS je jednorozměrným, je-li u něj zkoumán jen jeden statistický znak, vícerozměrným, je-li zkoumáno více statistických znaků.“ [5][4]

„Škálování

je vhodné vyjádření a seskupení hodnot statistického znaku prostřednictvím prvků škály. Podle povahy statistického znaku je možné rozlišovat např. čtyři typy škál: nominální, ordinální, kvantitativní metrickou a absolutní metrickou. Klasifikace škál lze využít také ke klasifikaci statistických znaků. V některých případech lze hodnoty statistického znaku ihned ztotožnit se škálou a škálování není nutné provádět.“ [5]

3. Cíl práce

Výběr přenosu vědeckých poznatků na úroveň přiměřenou znalostem studentů oboru Radiologický asistent a dalších příbuzných oborů. Vytvoření edukačního textu cestou, která respektuje vybranou teorii. Experimentální ověření edukačního textu z hlediska možností adresátů.

4. Hypotézy

Edukační text pro radiologické asistenty lze vytvořit aplikací teorie kurikulárního procesu. Znalosti studentů získané prostřednictvím vypracovaného edukačního textu budou mít normální rozdělení.

Při analýze současného stavu zkoumaného problému byly identifikovány dva doplňující předpoklady:

První doplňující předpoklad se týkal možné rozdílnosti v úrovni znalostí u studentů prezenční formy studia a u studentů kombinované formy studia.

Druhý doplňující předpoklad se týkal možného rozdílu v úrovni znalostí u studentů prvního ročníku studia oboru „Radiologický asistent“ a u studentů druhého ročníku studia téhož studijního oboru.

Zatímco první hypotéza byla ověřována volbou teorie přenosu poznatků z oblasti vědecké do oblasti edukační (byla vybrána teorie kurikulárního procesu), druhá hypotéza byla ověřována metodou matematické statistiky – neparametrickým testováním. První doplňující předpoklad byl ověřován metodou matematické statistiky – parametrickým testováním. Druhý doplňující předpoklad byl zhruba ověřován metodami deskriptivní statistiky.

Provedená analýza současného stavu zkoumaného problému (fyzikální základy relativistického lineárního urychlovače pro studenty oboru „Radiologický asistent“ a oborů příbuzných) umožnila také upřesnit cíle bakalářské práce:

1. Zařadit problém zkoumaný bakalářskou prací do oblasti aplikace teorie kurikulárního procesu.

2. Výše uvedený teoretický cíl promítnout do aplikace teorie kurikulárního procesu na konkrétní oblast radiologické fyziky – fyzikální základy relativistického lineárního urychlovače.

3. Ověřování přiměřenosti vytvořeného edukačního testu a aplikability vytvořeného edukačního testu spojit s použitím metod matematické statistiky (test normality).

4. Ověřování doplňující předpokladů spojit s použitím metod deskriptivní statistiky (škálování, empirické parametry) a metod matematické statistiky (dvovýběrový t-test).

Způsob naplňování cílů bakalářské práce, ověřování základních hypotéz a doplňujících předpokladů je podrobně popsán v metodice bakalářské práce.

5. Popis metodiky práce

a) Analýza současného vědeckého systému.

b) Transformace zkoumaného vědeckého systému na sdělitelný vědecký systém.

c) Vytvoření vlastního edukačního textu na základě analýzy vědeckého systému.

d) Ověření edukační funkce vytvořeného edukačního textu experimentální výukou studentů studijního oboru Radiologický asistent a dalších příbuzných oborů.

Adresáty by měli být studenti prvního a druhého ročníku studijního oboru „Radiologický asistent“ na Jihočeské univerzitě. Experimentální výuka bude aplikována na studenty prezenční i kombinované formy studia. Proběhnout by měla v předem dohodnutých termínech. Studenti budou o experimentální výuce informováni a po absolvování experimentální výuky jim bude sdělen termín položení edukačního testu. Dohodnuté termíny byly stanoveny na 18.4.2012 a 25.4.2012 u studentů prezenční formy studia a termíny 11.5.2012 a 30.5.2012 u studentů kombinované formy studia.

e) Vytvoření testu pro ověření získaných znalostí studentů a následné statistické vyhodnocení těchto testů.

f) Práce může dále sloužit jako výukový materiál studentům studijního oboru „Radiologický asistent“ a dalších příbuzných oborů.

V práci budou testovány rozdíly úrovně znalostí mezi studenty prezenční a kombinované formy studia. Z hlediska dvou zkoumaných výběrových statistických souborů bude použito dvoj-výběrové parametrické testování s použitím dvoj-výběrového t-testu a jeho kritického oboru W .

Charakteristika zkoumaného oboru

1. ročník prezenčního studia

První ročník navštěvuje 11 studentů. Byli dotázáni na jejich dosud dosažené vzdělání. Pět studentů maturovalo na střední zdravotnické škole, tři studenti studovali na gymnáziu a tři studenti navštěvovali střední školy s jiným zaměřením – ekonomickou, elektroprůmyslovou a střední odbornou školu sociální.

Převaha středních zdravotnických škol a gymnázií byla očekávána. Také se očekávaly lepší výsledky u gymnazistů nežli u zdravotníků, poněvadž tito studenti měli rozsáhlejší znalosti ve fyzice i matematice, získané již během středoškolské výuky.

1. ročník kombinovaného studia

U prvního ročníku kombinovaného studia byl položen test celkem 19 studentům. Byli dotázáni na dosud dosažené vzdělání. Předpokladem bylo, že tato skupina studentů bude mít o pravděpodobně horší výsledky než první ročník prezenčního studia, z důvodů menší dotace hodin fyziky i matematiky. Jedenáct z těchto studentů zatím dokončilo pouze střední školu různého zaměření – zemědělská, ekonomická, strojírenská, průmyslová střední škola. Dva studenti navštěvovali střední odbornou školu zdravotnickou, tři studenti získali vyšší odborné vzdělání, jeden student dokončil

vzdělání na vyšší odborné škole zdravotnické a pouze dva studenti studovali na vysoké škole.

2. ročník prezenčního studia

Ve druhém ročníku prezenčního studia je celkem patnáct studentů, včetně autora této práce. Celkem tedy čtrnáct bez autora. U této skupiny byly očekávány lepší výsledky než u prvních ročníků, protože tito studenti již absolvovali hodiny fyziky a matematiky v prvním ročníku, a také přednášky z radioterapie v druhém ročníku. Tři studenti vystudovali gymnázium, jeden student vystudoval střední školu ekonomickou a deset studentů střední školu zdravotnickou.

2. ročník kombinovaného studia

Tento ročník navštěvuje třináct studentů. Jeden student absolvoval vysokou školu v oboru fyzioterapie, jeden student absolvoval VOŠ, další student dvouletou nástavbu v oboru radiologický asistent (DiS) a dva studenti střední školu zdravotnickou. Jeden student získal titul DiS v oboru farmacie, tři studenti získali vzdělání na všeobecném gymnáziu a jeden student na gymnáziu se zaměřením na biochemii. Dále bylo zjištěno, že jeden student absolvoval střední školu strojírenskou, jeden střední ekonomickou a jeden student absolvoval maturitní zkoušku dvakrát – jednou na soukromé právní akademii a podruhé na střední zdravotnické škole.

6. Výsledky

6.1 Edukační text

Základní princip lineárního urychlovače částic

Lineární urychlovač slouží k urychlování nabitých částic po přímočaré dráze v evakuované urychlovací trubici a lze je dělit na elektrostatické a vysokofrekvenční s elektrodami nebo vysokofrekvenční s nosnou elektromagnetickou vlnou. [6][3]

Lineární urychlovač a radioterapie

Historie urychlovačů nabitých částic se začala psát již na počátku dvacátého století a je s nimi spojeno mnoho jmen významných vědců. Zřejmě prvním, kdo inicioval využití urychlených částic, byl Ernest Rutherford a jeho kolegové. Jejich experiment se týkal pouze reakce buzené α -částic. Nedosahovalo se však dostatečné energie a intenzity. V roce 1927 se norský inženýr Rolf Wideroe neúspěšně pokoušel o kruhový urychlovač. V tomtéž roce se mu však podařilo sestrojít první funkční prototyp lineárního urychlovače. Převratné myšlenky tohoto inženýra inspirovaly v oblasti fyziky řadu dalších vědců. Teprve po roce 1930, kdy byly vynalezeny dva typy zdrojů vysokého napětí, došlo k většímu rozvoji těchto přístrojů. J. D. Cockroft a E. T. S. Walton sestrojili první kaskádní generátor a R. van de Graaff také vytvořil generátor vysokého napětí, dnes známý jako tzv. Van de Graaffův generátor. O zřejmě největší boom v mnoha vědeckých odvětvích se paradoxně zasloužila 2. světová válka. V jejím průběhu bylo různými vládami financováno spousty vědeckých projektů. Sice šlo většinou o získání nových poznatků a vynálezů sloužících především pro válečné účely, ale zároveň s nimi došlo ke zdokonalování užitečných přístrojů používaných pro lékařské účely i v běžném životě. Například rozvoj radarové techniky ve válečných letech přispěl k vývoji vysokofrekvenčních urychlovačů. E. Lawrence se v průběhu čtyřicátých let věnoval urychlování elektronů pomocí elektromagnetické indukce.

Velkou roli ve vývoji urychlovačů sehrál především jako teoretik, ale v roce 1944 sestrojil i funkční prototyp betatronu, se kterým dosáhl energie až 15 MeV. Své úsilí a bádání po zbytek života zaměřil na využívání urychlovačů v medicíně. Jednalo se především o první metody ozařování pacientů betatronem.

Pokud jde o medicínské využití lineárních urychlovačů, jejich éra začala nejspíše rokem 1952, kdy byl tento přístroj poprvé instalován do nemocničního prostředí. V roce 1955 byl pak do medicínské praxe zaveden vysokofrekvenční lineární urychlovač pro ozařování paprsky X, který dosahoval energií okolo 5 MeV. V šedesátých letech 20. století již zaujímají vysokofrekvenční lineární urychlovače v radioterapii poměrně dominantní postavení.

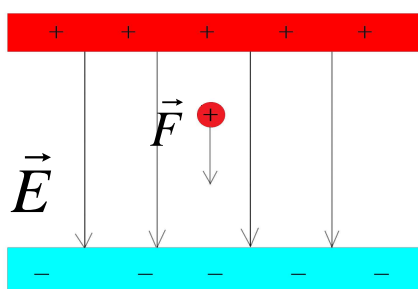
Od dob prvních vynalezených lineárních urychlovačů se jejich základní fyzikální princip prakticky nemění. Pouze se technicky stále zdokonalují jednotlivé části přístrojů a dochází k větší automatizaci pro usnadnění jejich ovládání. Také je kladen vysoký důraz na prvky zajišťující bezpečnost a pohodlí pacienta v průběhu léčby zářením.

[6][7]

Jednoduchý urychlovač

Jeden z nejjednodušších urychlovačů nabitých částic lze vytvořit pomocí elektrického pole mezi dvěma elektrodami. Nabité částice jsou zde přitahovány k opačně nabité elektrodě a tím je jejich pohyb urychlen.

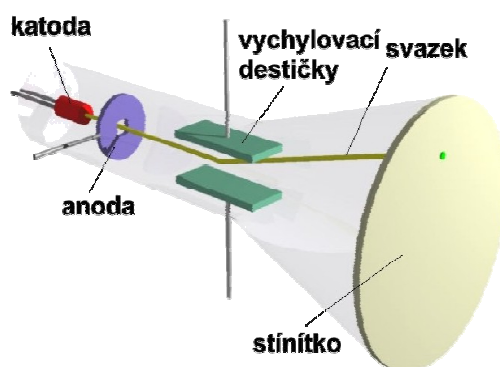
Obrázek 1: Elektrické pole mezi elektrodami



$$\vec{F} = q\vec{E}$$

S dalším jednoduchým urychlovačem se setkáváme i v klasické televizní obrazovce. Elektrické pole se zde však pohybuje pouze zhruba okolo 15 kV a energie elektronů dopadajících na stínítko je tak 15 keV.

Obrázek 2: Princip klasické televizní obrazovky



Rozdělení urychlovačů nabitých částic

Urychlovače lze dělit na několik skupin podle různých kritérií.

a) podle způsobu urychlování:

- elektrostatické
- vysokofrekvenční

b) podle tvaru dráhy částic:

- lineární
- kruhové (cyklické)

c) podle druhu urychlených částic:

- urychlovače elektronů
- urychlovače protonů a lehkých iontů
- urychlovače těžkých částic
- urychlovače univerzální

Lineární urychlovače částic pro vysoké energie

Několik válcových elektrod je umístěno za sebou a každá je připojena ke střídavému napětí $u = U \cos \omega t$. Procházející částice je urychlena potenciálovým rozdílem mezi elektrodami. Ty jsou přepólovány v okamžiku, kdy je částice uvnitř elektrody a nepůsobí na ni žádné pole. S rostoucí rychlostí musí být také vhodně volena délka válcové elektrody, aby se během průletu částice elektrodou stačila změnit polarita. Z toho vyplývá, že čím vyšší je rychlost, tím delší musí být elektroda. Průletem mezi elektrodami získá částice energii $E = qU$. Po průletu celým urychlovačem pak částice získá energii $E = nqU$.

Částice o hmotnosti m a náboji Q přicházejí ze zdroje. První válec V_1 má pro elektrony kladný potenciál U . Částice získají poté rychlost:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2Q2U}{m}}$$

S touto rychlostí proletí délku válce V_1 za čas t .

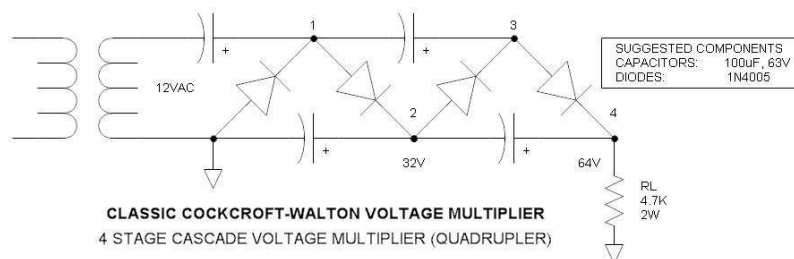
$$l_1 = v_1 t$$

Je-li frekvence $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$ zvolena tak, aby urychlené částice vstoupily do mezery mezi válci v čase $t = \frac{T}{2}$, kdy jsou elektrody již přepólovány, dojde k opětovnému urychlení.

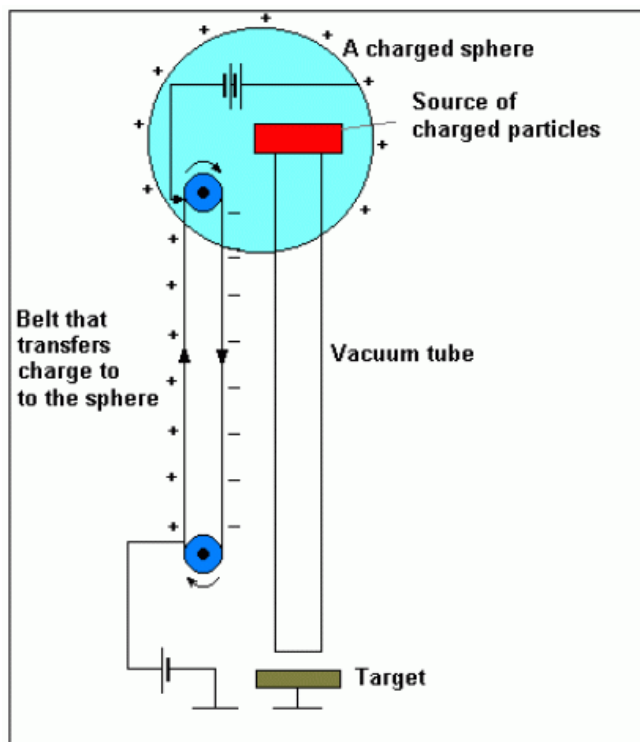
Elektrostatické lineární urychlovače částic

Nabité částice jsou přímo urychlovány v urychlovací trubici. Elektrody této trubice jsou připojeny ke zdroji vysokého stejnosměrného napětí, například z Van de Graaffova generátoru či kaskádního násobiče.

Obrázek 3: Kaskádní násobič [34]

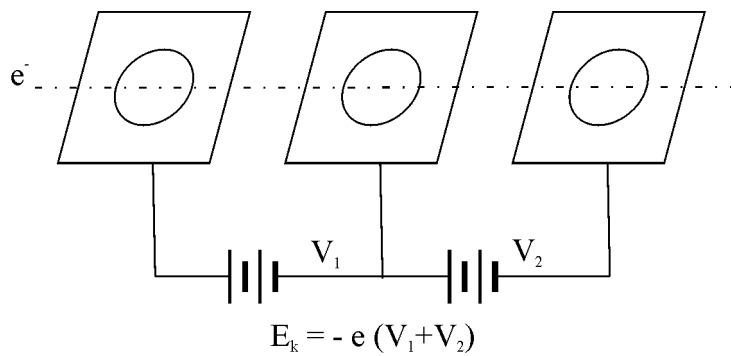


Obrázek 4: Van de Graaff generátor [33]



Section through the Van de Graaff generator.

Obrázek 5: Urychlovač s elektrodami – urychlení v elektrostatickém poli [35]

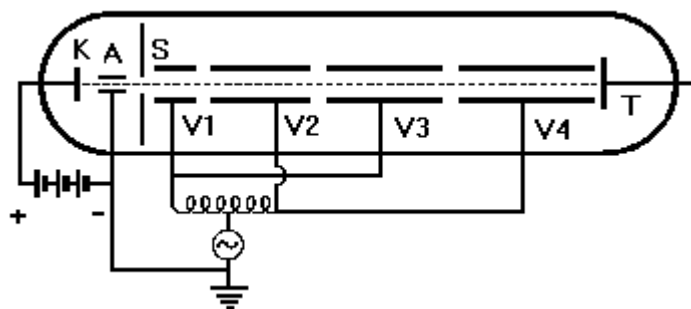


V urychlovací trubici elektrostatického lineárního urychlovače dosahují částice energie 1 až 2 MeV. V dnešní době mají ve zdravotnictví spíše historický význam, neboť byly náročné na kapacitu prostoru a obtížně obsluhovatelné.

Vysokofrekvenční lineární urychlovač částic

Využívá k urychlení částic soustavu válcových elektrod nebo dutinových rezonátorů s postupnou či stojatou vlnou.

Obrázek 6: Schématický obrázek lineárního urychlovače s elektrodami [35]



Několik rezonančních dutin spojených dohromady tvoří tzv. urychlovací strukturu. Po vyvinutí radiofrekvenčních zdrojů (magnetron, klystron) a dalších souvisejících mikrovlnných součástí byl položen základ pro mikrovlnný lineární urychlovač.

Mikrovlnný lineární urychlovač částic

Konstrukční rozměry rezonanční dutiny úzce souvisí s vlnovou délkou použitého zařízení. Čím vyšší frekvenci použijeme, o to více se zkrátí vlnová délka a rezonanční dutina bude rozměrově menší.

Vlnová délka při urychlení střídavým polem:

50 Hz..... $\lambda = 6000$ km

3 GHz..... $\lambda = 10$ cm

V radioterapii jsou prakticky použitelné pouze vysokofrekvenční zdroje, neboť nízké frekvence by měli příliš vysoké požadavky na rozměr přístroje.

Skutečně používané frekvence:

Vysokoenergetické urychlovače = 2,856 GHz

Nízkoenergetické urychlovače = 2,998 GHz

Urychlovač používající mikrovlnné záření má zpravidla 4 části:

Modulátor je součástí urychlovače, která odebírá elektrický výkon z místní rozvodné sítě. Má za úkol pomocí speciálního obvodu vyrábět vysokonapěťové pulsy. Tyto pulsy mají opakovací frekvenci několik set pulsů za sekundu a slouží k synchronnímu napájení vysokofrekvenčního zdroje a elektronové trysky. Dále obsahuje spínací prvky (Thyratron, Thyristor) k řízení vysokonapěťových pulsů generovaných v modulátoru.

Zdroj elektronů může jim být elektronová tryska nebo elektronové dělo. Elektronová tryska po pulsaci pulsy z modulátoru vstříkuje elektronové pulsy do urychlovací struktury (s energií 115-40 keV). Existují trysky diodového typu s přímým nebo nepřímým žhavením. Můžeme se setkat i s triodovým typem, ve kterém se užívá mřížka k jemnému řízení proudu vstříkovaných elektronů. Elektronové dělo využívá buď žhavicí vlákno, nebo nepřímé žhavení.

Zdroj vysokofrekvenční energie je magnetron nebo klystron. Klystron je používám u vysokoenergetických urychlovačů a magnetron je vhodný pro urychlovače s nízkými a středními energiemi. Tyto součástky se skládají

z několika mikrovlnných dutin řazených buď v kruhu (magnetron) nebo řazených v přímce (klystron) a magnetu, který ovládá svazek elektronů. Svazek elektronů z katody je využíván k buzení mikrovlnné energie v dutinách. Dojde k zesílení mikrovlnného záření, které je pak dále převedeno do vlnovodu.

Urychlovací struktura bývá rovněž nazývána urychlovacím vlnovodem. Jedná se o speciální dutou kovovou trubku užívanou k transportu mikrovlnného záření. Skládá se z několika měděných rezonančních dutin spojených dohromady v jedné přímce (lineárně).

Rozlišujeme dva základní typy:

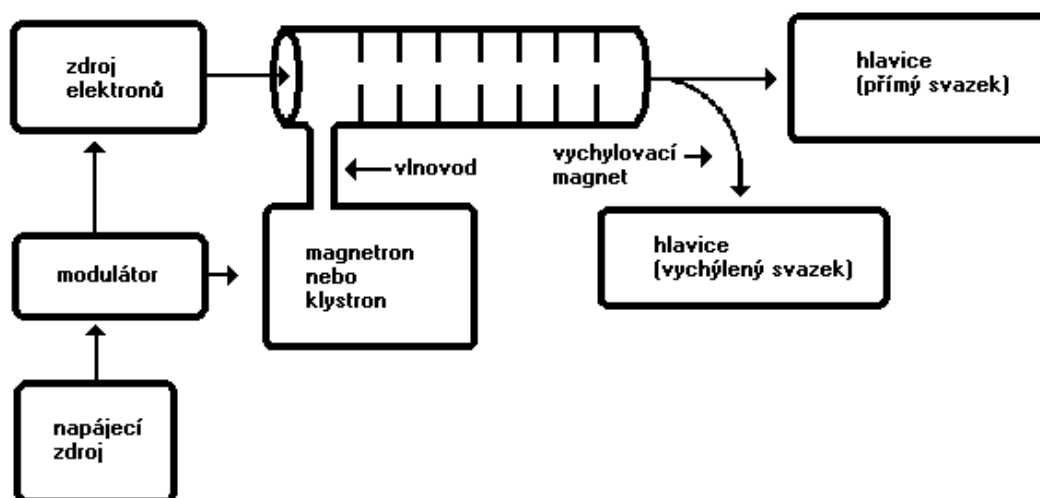
- s postupnou vlnou
- se stojatou vlnou

Také se skládá ze dvou různých oblastí:

- shlukovací (buncher)
- urychlovací

Elektrony vstříknuté do vlnovodu vzhledem k vlně příliš brzy jsou ve shlukovací oblasti zpomaleny, elektrony vstříknuté příliš pozdě jsou naopak urychleny v oblasti urychlovací. Ke vstříknutí částic dochází s rychlostí okolo $0,4 c$ a energie se pohybuje zhruba kolem 40 keV. V další části jsou již částice urychleny na rychlost blízkou rychlosti světla a po dosažení požadované energie dopadají částice buď na kovový terčik, kde dojde ke vzniku X – záření srážkami s atomy terčiku nebo jsou tyto částice přímo použity k ozařování.

Obrázek 7: Schématický obrázek lékařského lineárního urychlovače [35]



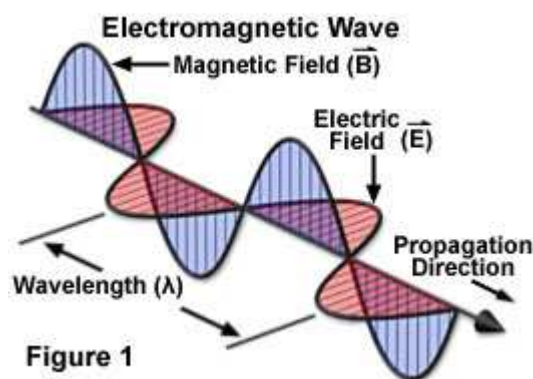
Odvozování – od pohybové rovnice k pohybovému zákonu

Elektromagnetická vlna

Než se dostaneme k odvození rovnic, připomeňme si pár základů o elektromagnetické vlně. Je tvořena dvěma neoddělitelnými složkami, elektrickou a magnetickou. Elektrické složce odpovídá vektor \vec{E} a magnetické vektor \vec{B} . Vektory jsou na sebe kolmé a současně kolmé i na směr šíření vlny. Směr vektorů \vec{E} a \vec{B} se při šíření elektromagnetické vlny nemění.

$$\text{Síla elektromagnetického pole: } \vec{F}_{elmg} = \vec{F}_{el} + \vec{F}_{mg} = Q\vec{E} + Q(\vec{v} + \vec{B})$$

Obrázek 8: Elektromagnetická vlna [36]



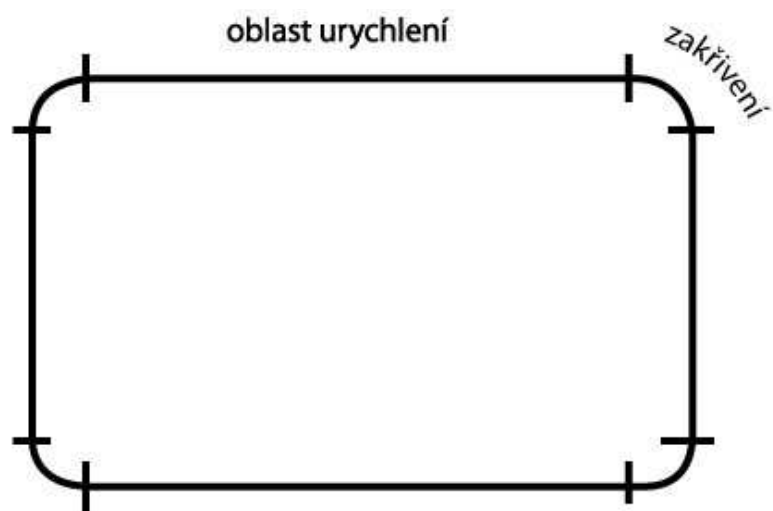
Vlnu postupující ve směru osy x lze popsat vztahy:

$$E = E_m \sin(kx - \omega t)$$

$$B = B_m \sin(kx - \omega t)$$

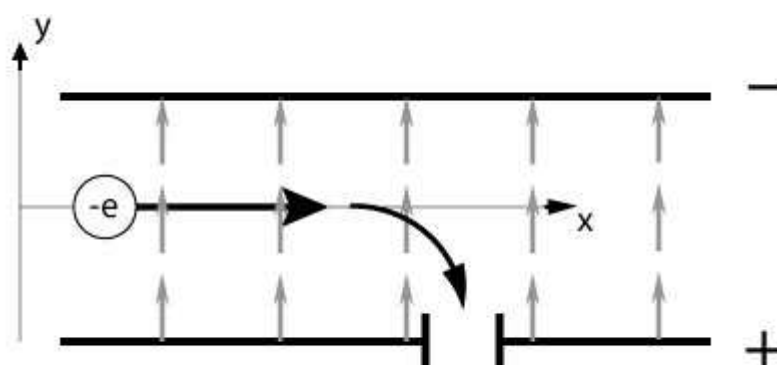
Rychlost elektromagnetické vlny ve vakuu je vyjádřena vztahem $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$

Obrázek 9: Schéma lineárního urychlovače pro dosažení vysokých energií



Nabitá částice v příčném homogenním elektrickém poli

Homogenní elektrické pole se nachází mezi rovnoběžnými a opačně nabitými deskami. Intenzita v homogenním elektrickém poli má ve všech místech stejnou velikost i směr, tj. je konstantní $\vec{E} = \overline{konst.}$. Intenzita má směr od kladného náboje k zápornému a všechny siločáry jsou rovnoběžné.



Počáteční podmínky:

$$\vec{F}(0, -eE, 0)$$

$$\vec{v}(v_0, 0, 0)$$

$$\vec{r}(0, 0, 0)$$

$$t = 0$$

Cesta od pohybové rovnice k pohybovému zákonu

$$\vec{F} = m\ddot{\vec{r}} \Leftrightarrow$$

$$F_x = m\ddot{x} \wedge F_y = m\ddot{y} \wedge F_z = m\ddot{z}$$

První integrace

$$\vec{F}(0, -eE, 0) \Rightarrow$$

$$0 = m\dot{x} \wedge -eE = m\dot{y} \wedge 0 = m\dot{z}$$

$$0 = d\dot{x} \wedge \frac{-eE}{m} dt = d\dot{y} \wedge 0 = d\dot{z}$$

Druhá integrace

$$C_1 = \dot{x} \wedge \frac{-eE}{m} t + C_2 = \dot{y} \wedge C_3 = \dot{z}$$

$$\dot{x} = v_0 \wedge \dot{y} = \frac{-eE}{m} t \wedge \dot{z} = 0$$

$$x = v_0 t \wedge y = \frac{-eE}{2m} t^2 \wedge z = 0$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = v_0 \\ \int dx = \int v_0 dt \\ x = v_0 t + C_4 \end{array}}$$

Pohybový zákon $\vec{r} = v_0 t \vec{i} + \left(\frac{-eE}{2m} t^2 \right) \vec{j} + 0 \vec{k}$

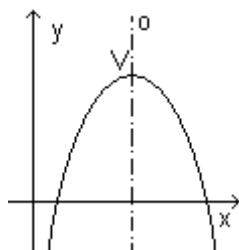
Nalezení tvaru dráhy a místa napojení:

$$\text{Kvadratická funkce: } y = -\frac{1}{2} \frac{eE}{mv_0^2} x^2$$

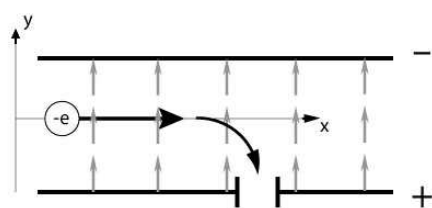
$$y = ax^2 + bx + c$$

$$b = 0, c = 0, a = \frac{-eE}{2mv_0^2}$$

Výsledkem je obrácená parabola



Místo napojení:



$$A[x = ?, |y| = h - l]$$

$$x = \sqrt{\frac{2mv_0(h-l)}{eE}}$$

l = vzdálenost mezi deskami

h = vzdálenost elektronu a desky kondensátoru

v_0 = počáteční rychlost elektronu

Nabitá částice v podélném homogenním elektrickém poli

Počáteční podmínky:

$$\vec{E}(E, 0, 0)$$

$$\vec{F}(-eE, 0, 0)$$

$$\vec{v}(v_0, 0, 0)$$

$$\vec{r}(0, 0, 0)$$

Od pohybové rovnice k pohybovému zákonu

$$-eE = m\ddot{x} \wedge 0 = m\ddot{y} \wedge 0 = m\ddot{z}$$

$$\dot{x} = \frac{-eE}{m}t + C_1$$

$$\dot{x} = \frac{-eE}{m}t + v_0$$

Po integraci:

$$x = \frac{-eE}{2m}t^2 + v_0t$$

Urychlování se zrychlením $a = \frac{eE}{m}$

Pohybový zákon $\vec{r}(t) = \left(\frac{-eE}{2m}t^2 + v_0t \right) \vec{i} + 0\vec{j} + 0\vec{k}$

[1][2][3][6][7][8][9][22][24][25]

Návod na konstrukci magnetického lineárního urychlovače

Magnetický lineární urychlovač známý též jako „The Gaussian gun“ je velmi jednoduchý experiment využívající magnetickou řetězovou reakci. K uskutečnění experimentu je zapotřebí přímá dráha či kolejnice, po které se bude snadno pohybovat ocelová kulička. Ideální volbou je například dřevěné pravítko s drážkou v horní části. Dále potřebujeme asi čtyři silné magnety, nejlépe válcové o stejném průměru, jako má ocelová kulička. Čím silnější budou magnety, tím vyššího urychlení dosáhneme. Celkem bude zapotřebí devět ocelových kuliček se shodným průměrem, jako mají magnety.

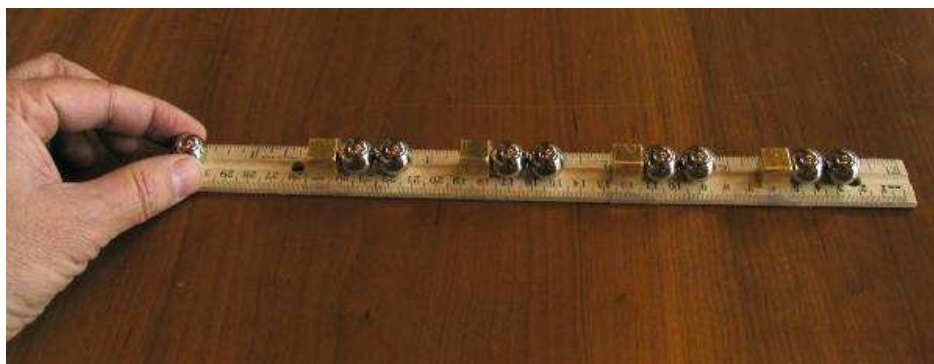
Magnety umístíme na kolejnici a pevně uchytkáme lepicí páskou (zcela obyčejná průhledná páska postačí). Vzdálenost mezi nimi je poněkud subjektivní.

Obrázek 10: Dráha s magnety [37]



Když jsou všechny magnety připevněny na dráhu, přistoupíme k nabití magnetické pušky.

Obrázek 11: Dokončený magnetický lineární urychlovač[37]



Napravo od každého magnetu umístíme dvě ocelové kuličky. Na ohnisko pušky postavíme ocelovou kuličku, na levé straně magnetu. Pokud je v dostatečné blízkosti magnetu, začne se sama pohybovat po dráze a následně narazí do magnetu. Kinetická

energie kuličky přechází na první magnet a z něj dále až na třetí kuličku. Ta se rozpohybuje po dráze k dalšímu magnetu a opět předá svou energii. Rychlost a energie stále narůstá a dochází k čím dál vyššímu urychlení. [10]

6.2 Statistické zpracování výsledků měření

Formulace statistického šetření

HNJ	měření znalostí studentů 1. a 2. ročníku v roce 2011/2012
SJ	student
HSZ	rozpětí max. a min. rozsahu znalostí: 5b – 15b
SZ	rozsah znalostí
VSS = ZSS	

Škálování

Provedeno bylo 57 měření v podobě testu, na škále 1 až 5 (1: 6b a méně; 2: 7-8b; 3: 9-10b; 4: 11-12b; 5: 13 a více)

Kvantitativní metrická škála (tzn. rozpětí je stejné)

Znázorňuje první sloupec v tabulce.

Měření

Zachycují 1. a 2. sloupec v tabulce.

Naměřené hodnoty

ŠKÁLA	Počet studentů 1.ročníku	
	PS	KS
1.	0	1
2.	2	4
3.	6	7
4.	2	5
5.	1	2

ŠKÁLA	Počet studentů 2.ročníku	
	PS	KS
1.	0	2
2.	2	4
3.	6	5
4.	5	2
5.	1	0

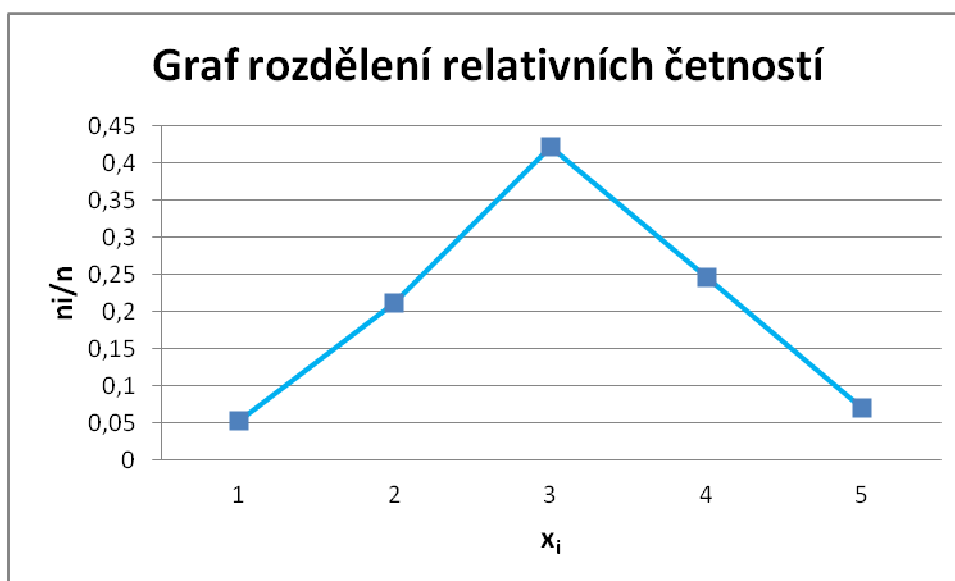
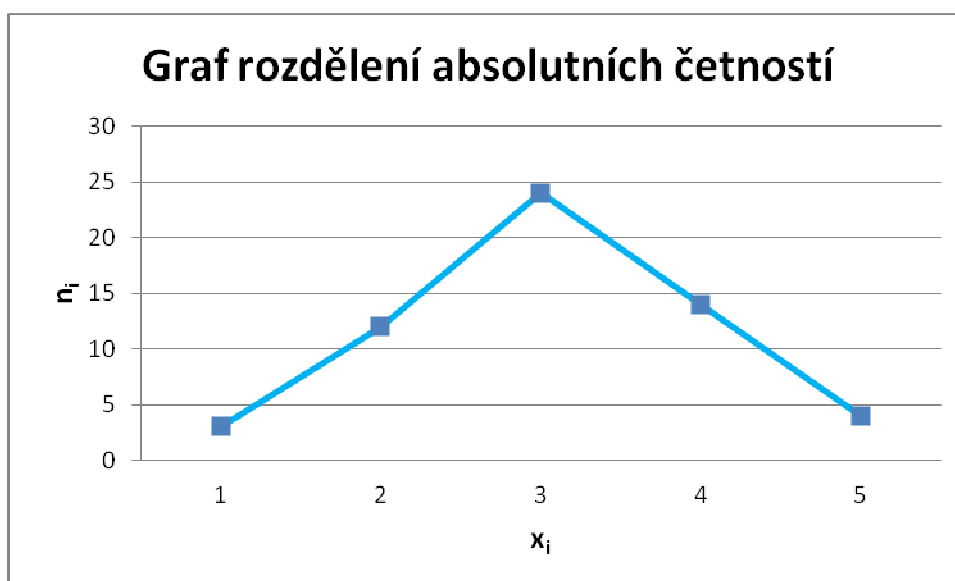
Elementární statistické zpracování

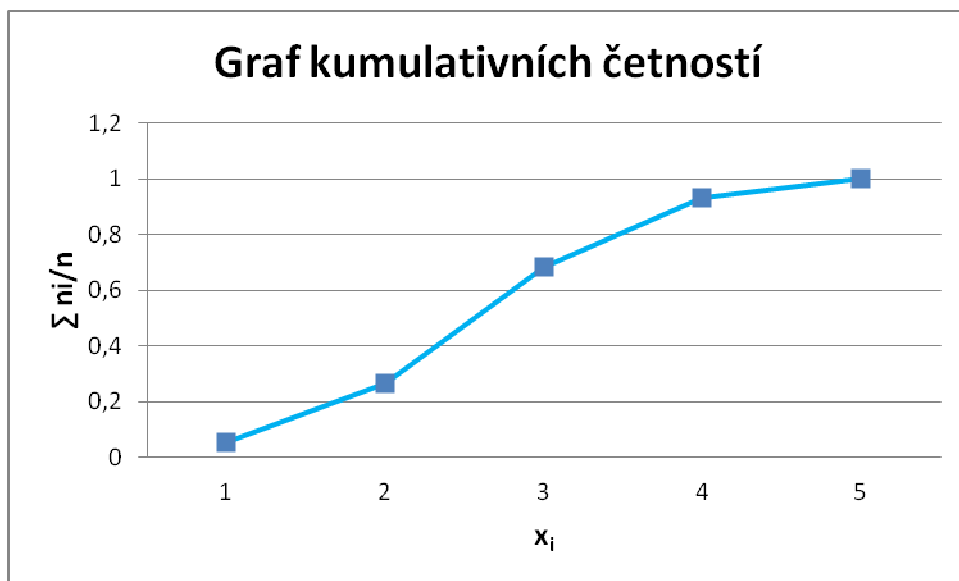
Počítá se 1. a 2. ročník dohromady.

a) tabulka

x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	3	0,05263	0,05263	3	3	3	3
2	12	0,21053	0,26316	24	48	96	192
3	24	0,42105	0,68421	72	216	648	1944
4	14	0,24561	0,92982	56	224	896	3584
5	4	0,07018	1,00	20	100	500	2500
Σ	57	1		175	591	2143	8223

b) empirické rozdělení četností





Parametry polohy:

$$O_1 = 175/57 = 3,1$$

Parametry variability:

$$O_2 = \sum n_i/n \cdot x_i^2$$

$$O_2 = 591/57$$

$$O_2 = 10,368$$

$$C_2 = O_2 - [O_1]^2$$

$$C_2 = 10,368 - 9,61$$

$$C_2 = 0,758$$

$$S_x = \sqrt{C_2} \quad S_x = 0,871$$

Parametry šikmosti:

$$O_3 = n_i/n \cdot x_i^3$$

$$O_3 = 2153/57$$

$$O_3 = 37,772$$

$$C_3 = O_3 - 3O_2O_1 + 2O_1^3$$

$$C_3 = 0,932$$

$$N_3 = C_3 / (C_2 \sqrt{C_2})$$

$$N_3 = 1,412$$

Parametry špičatosti:

$$O_4 = n_i/n \cdot x_i^4$$

$$O_4 = 144,263$$

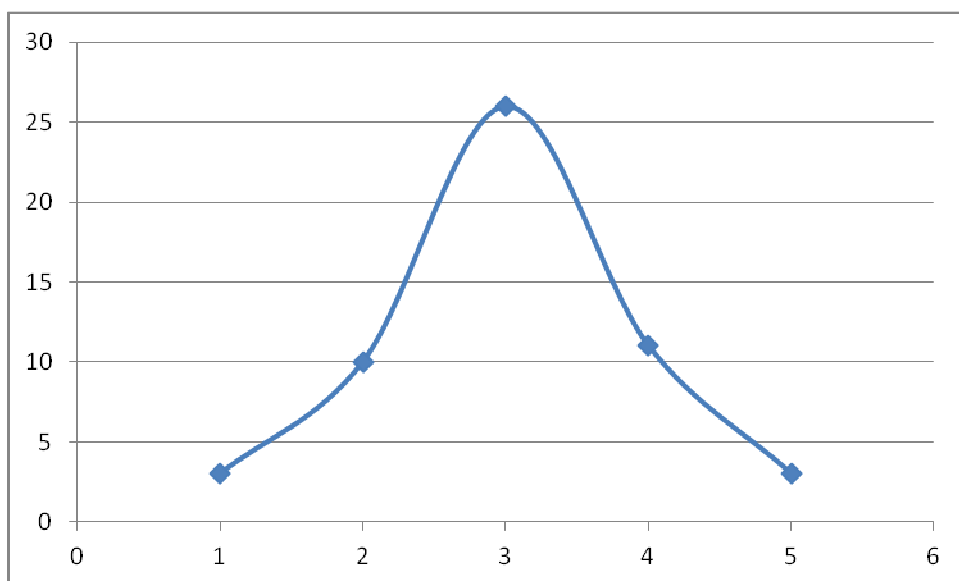
$$C_4 = O_4 - 4O_3O_1 + 6O_2O_1^2 - 3O_1^4$$

$$C_4 = -3,347$$

$$N_4 = C_4/C_2^2$$

$$N_4 = -5,825$$

Normální rozdělení – Gaussova křivka



Neparametrické testování

x_i	interval	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	$(-\infty; 1,5>$	3	0,05263	0,05263	3	3	3	3
2	$(1,5; 2,5>$	12	0,21053	0,26316	24	48	96	192
3	$(2,5; 3,5>$	24	0,42105	0,68421	72	216	648	1944
4	$(3,5; 4,5>$	14	0,24561	0,92982	56	224	896	3584
5	$(4,5; \infty)$	4	0,07018	1,00	20	100	500	2500
Σ		57	1		175	591	2143	8223

Vyjádření ploch p_1 až p_5 pomocí distribuční funkce $F(x)$

$p_1 = F(1,5)$
$p_2 = F(2,5) - F(1,5)$
$p_3 = F(3,5) - F(2,5)$
$p_4 = F(4,5) - F(3,5)$
$p_5 = F(\infty) - F(4,5)$

$$u = (x - O_1)/S_x$$

$$u_1 = (x_1.HM - O_1)/S_x$$

$$u_2 = (x_2.HM - O_1)/S_x$$

$$u_3 = (x_3.HM - O_1)/S_x$$

$$u_4 = (x_4.HM - O_1)/S_x$$

$$u_5 = (x_5.HM - O_1)/S_x$$

Aplikace χ^2 - testu dobré shody:

$$\chi^2 = (n_1 - p_1 \cdot n)^2 / n \cdot p_1$$

$$\chi^2 = (n_2 - p_2 \cdot n)^2 / n \cdot p_2$$

$$\chi^2 = (n_3 - p_3 \cdot n)^2 / n \cdot p_3$$

$$\chi^2 = (n_4 - p_4 \cdot n)^2 / n \cdot p_4$$

$$\chi^2 = (n_5 - p_5 \cdot n)^2 / n \cdot p_5$$

Výpočet χ^2 kritické:

χ^2 kritické bude nalezeno ve statistických tabulkách pomocí teoretické hodnoty

$\chi^2_{k-r-1}(\alpha)$.

$\alpha = 0,05$

$k = 5$ (počet intervalu četnosti, který zůstal)

$r = 2$ (počet teoretických parametrů ve zkoumaném teoret. rozdělení $N(\mu; \sigma)$)

$$\chi^2_{exp} = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - np_j)^2}{np_j}$$

$$u_i = \frac{x_i - O_1}{S_x}$$

$O_1 = 3,1$

$S_x = 0,871$

n_i	x_i	u_i
$n_1/n = 3/57$	$x_1 = 1,5$	$u_1 = 1,5 - 3,1/0,871 = -1,83$
$n_2/n = 12/57$	$x_2 = 2,5$	$u_2 = 2,5 - 3,1/0,871 = -0,69$
$n_3/n = 24/57$	$x_3 = 3,5$	$u_3 = 3,5 - 3,1/0,871 = 0,46$
$n_4/n = 14/57$	$x_4 = 4,5$	$u_4 = 4,5 - 3,1/0,871 = 1,6$
$n_5/n = 4/57$	$x_5 = \infty$	$u_5 = \infty$

$$p_1 = \int_{-\infty}^{-1,83} \rho(u) du = F(u_1) = F(-1,83) = 1 - F(1,83) = 1 - 0,96 = 0,04$$

$$p_2 = \int_{-1,83}^{-0,69} \rho(u) du = F(u_2) - F(u_1) = F(-0,69) - F(-1,83) = 0,25 - 0,04 = 0,21$$

$$p_3 = \int_{-0,69}^{0,46} \rho(u) du = F(u_3) - F(u_2) = F(0,46) - F(-0,69) = 0,68 - 0,25 = 0,43$$

$$p_4 = \int_{0,46}^{1,6} \rho(u) du = F(u_4) - F(u_3) = F(1,6) - F(0,46) = 0,94 - 0,68 = 0,26$$

$$p_5 = \int_{1,6}^{\infty} \rho(u) du = F(u_5) - F(u_4) = F(\infty) - F(1,6) = 1 - 0,94 = 0,06$$

x_i	interval	n_i	u_i	$F(u_i)$	p_i	np_i
1	$(-\infty; 1,5>$	3	-1,83	0,96	0,04	2,28
2	$(1,5; 2,5>$	12	-0,69	0,25	0,21	11,97
3	$(2,5; 3,5>$	24	0,46	0,68	0,43	24,51
4	$(3,5; 4,5>$	14	1,6	0,94	0,26	14,82
5	$(4,5; \infty)$	4	∞	1	0,06	3,42

$$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$$

1	0,23
2	0,00075
3	0,012
4	0,045
5	0,098
Σ	0,385

$$\chi_{\text{exp}}^2 = 0,385$$

Kritická teoretická hodnota a stupně volnosti:

$$v = 5 - 2 - 1 \quad \alpha = 0,05$$

$$v = 2$$

$$\chi_{k-r-1}^2(\alpha = 0,05) = \chi_{5-2-1}^2(0,05) = \chi_2^2(0,05) = 5,99 = \chi_{\text{test.}}^2$$

Pravostranný kritický obor W:

$$W = (\chi_2^2(0,05); \infty) \quad W = (5,99; \infty)$$

χ_{exp}^2 nepatří do W

tzn. lze přijmout H_0 = lze nahradit empirické rozdělení teoretickým normálním rozdělením

Parametrické testování - dvojitý t-test: porovnání studia prezenčního a kombinovaného:

prezenční studium

x_i	n_i	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$
1.	0	0	0
2.	4	8	16
3.	12	36	108
4.	7	28	112
5.	2	10	50
Σ	25	82	286

$$O_1 = 82/25 = 3,28$$

$$O_2 = 286/25 = 11,44$$

$$C_2 = 11,44 - 10,76 = 0,68$$

$$S_x = 0,83$$

kombinované studium

x_i	n_i	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$
1	3	3	3
2	8	16	32
3	12	36	108
4	7	28	112
5	2	10	50
Σ	32	93	305

$$O_1 = 93/32 = 2,9$$

$$O_2 = 305/32 = 9,53$$

$$C_2 = 9,53 - 8,41 = 1,12$$

$$S_x = 1,06$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)Sx_1^2 + (n_2 - 1)Sx_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

$$t_{\text{exp}} = 1,47$$

$$W = (- \infty; - 1,96 > U < 1,96; \infty)$$

t_{exp} nepatří do W tj. lze přijmout hypotézu $H_0 \Rightarrow$ mezi prezenčním a kombinovaným studiem není na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ rozdíl.

7. Diskuze

Statistické šetření prokázalo, že lze přijmout nulovou hypotézu a nahradit empirické rozdělení teoretickým normálním rozdělením. Empiricky naměřené hodnoty lze nahradit Gaussovou křivkou, která vyjadřuje normální spojité rozdělení. Tím byla ověřena druhá hypotéza této práce, jež zněla: Znalosti studentů získané prostřednictvím vypracovaného edukačního textu budou mít normální rozdělení.

Statistické šetření také prokázalo, že lze přijmout rovněž další nulovou hypotézu, tentokrát z oblasti parametrického testování. V tomto případě byla prokázána neexistence rozdílu mezi prezenčním a kombinovaným studiem na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Statistické šetření umožnilo ověřit také první hypotézu práce – vytvoření vhodného a přiměřeného edukačního textu vzhledem k možnostem a znalostem respondentů (tj. studentů JU) lze provést pomocí vhodné aplikace teorie kurikulárního procesu. Přiměřenost vytvořeného textu je v plném souladu s ověřenou normalitou rozdělení znalostí respondentů (viz. znění druhé hypotézy) – od jistého průměrné hodnoty znalostí s největší pravděpodobností klesají pravděpodobnosti jako hodnot nižších, tak i hodnoty vyšších v souladu s Gaussovou křivkou.

Bakalářská práce výběrem respondentů rovněž umožnila srovnat studenty prezenčního studia se studenty studia kombinovaného. Obě skupiny studentů vstupují do studia oboru „Radiologický asistent“ s odlišnými vstupními hodnotami. Prezenční studenti bezprostředně navazují na absolvování střední školy a lze předpokládat poměrně vysokou hladinu teoretické fyzikální připravenosti. Studenti kombinované formy studia mají naproti tomu větší časovou odlehlost od ukončení střední školy, lze však předpokládat značné praktické zkušenosti. Odlišnost vstupních hodnot vedla k možnému předpokladu, že výsledky výuky (tj. implementované kurikulum-2) budou u obou skupin respondentů rozdílné.

Tomuto předpokladu odpovídala i rozdílná skladba absolvovaných středních škol u obou diskutovaných skupin respondentů. U prezenčních studentů převažovalo absolvování gymnázií a středních zdravotních škol. Tato skladba byla odlišná u studentů kombinované formy studia, zvláště z hlediska absolvování dalších

dodatečných vzdělávacích kurzů nebo i přímo paralelního vysokoškolského vzdělání. Vzhledem k odlišným skladbám edukace předcházející studiu oboru „Radiologický asistent“ a vzhledem k odlišnému poměru teoretické a praktické připravenosti byl u obou skupin respondentů očekáván odlišný výsledek znalostí získaný vyhodnocením položeného edukačního testu.

Ověření této dodatečné hypotézy proběhlo aplikací parametrického testování prostřednictvím dvojitý výběrového t-testu. Jelikož experimentální testová hodnota nebyla prvkem kritického oboru, bylo možné tuto dodatečnou hypotézu zamítnout. Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ rozdíl ve znalostech studentů nebyl prokázán.

Tento výsledek rovněž prokazuje dobrou parametrizaci akreditačních materiálů (alespoň v oblasti studia radiologické fyziky, jiné části akreditačních materiálů nebyly zkoumány) v tak odlišných formách studia, jakými jsou forma prezenční a kombinovaná. Tento výsledek by si jistě zasloužil hlubší zkoumání např. i z hlediska psychologického – stejnou úroveň výsledků dosažených na základě identického edukačního textu a identického edukačního testu by bylo možné vysvětlit např. vyšším stupněm zodpovědnosti a péle, zvláště u studentů kombinované formy studia.

Další zajímavou diskusní možností bylo srovnání edukačních výsledků u respondentů, kteří byli studenty prvního ročníku, a u respondentů, kteří byli studenty ročníku druhého. U druhého ročníku se očekávaly lepší výsledky než u ročníku prvního – druhý ročník již prošel výukou předmětů, které se týkaly daného tématu cyklotronů. Tato další dodatečná hypotéza byla zhruba potvrzena – prvek škály 3 obsadilo u 1. ročníku 40% studentů, u 2. ročníku 50%, prvek škály 5 u 1. ročníku 0%, u 2. ročníku přibližně 19% studentů. Prvek škály 5 obsahoval nejvyšší počet bodů získaný na základě vyhodnocení položeného edukačního testu.

Bakalářská práce vycházela z ověřování dvou hypotéz:

- a) vytvořit vhodný edukační text aplikací kurikulárního procesu
- b) znalosti studentů získané prostřednictvím vypracovaného edukačního textu budou mít normální rozdělení

Obě tyto hypotézy byly následně potvrzeny statistickým zpracováním výsledků, které byly získány experimentální výukou a položením edukačního testu studentům. Na

základě provedené diskuse dosažených výsledků lze konstatovat, že cíle bakalářské práce byly splněny. To znamená – byl vhodně aplikován kurikulární proces, byl sestaven přiměřený edukační text vzhledem k možnostem adresátů a také byl vhodně sestaven i následný test, který byl položen těmto adresátům.

8. Závěr

Bakalářská práce se zabývala aplikací teorie kurikulárního procesu na radiologickou fyziku a na její konkrétní oblast – fyzikální základy relativistického lineárního urychlovače. Aplikace kurikulárního procesu vyústila do vytvoření edukačního textu přiměřeného studentům oboru Radiologický asistent (a zřejmě i studentům oboru příbuzných) a do vytvoření edukačního testu, který byl respondentům položen a statisticky vyhodnocen. Statistické vyhodnocení bylo zaměřeno na ověření dvou základních hypotéz práce (ověření aplikability kurikulárního procesu na konkrétní oblast radiologické fyziky a ověření existence normálního rozdělení znalostí studentů po absolvování výuky).

Obě hypotézy byly ověřeny a byly tím tedy naplněny cíle, které se bakalářská práce položila. Jako vedlejší produkt bylo zkoumání dvou dodatečných hypotéz – předpokládaný rozdíl v úrovni znalostí u studentů prezenční formy studia a u studentů kombinované formy studia potvrzen nebyl, předpokládaný rozdíl v úrovni znalostí u studentů 1. ročníku a u studentů 2. ročníku potvrzen zhruba byl.

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

Uvedené formy kurikula a způsob jejich aplikace byly vedle výsledků bakalářské práce potvrzeny také publikační činností autora bakalářské práce v anglickém jazyce. Konceptuální kurikulum v oblasti fyzikálních principů relativistického lineárního urychlovače (tj. sdělitelný vědecký systém) bylo publikováno ve sborníku mezinárodní konference, projektové kurikulum (edukační text a edukační test) a implementované kurikulum-2 (výsledky výuky statisticky vyhodnocené) byly zaslány jako příspěvky na další mezinárodní konferenci k recenznímu řízení.

Souhrnně lze v závěru práce uvést přesné znění hypotéz a způsob jejich ověřování. První hypotéza zněla: „Vytvoření vhodného edukačního textu lze dosáhnout aplikací kurikulárního procesu“. Druhá hypotéza zněla: „Znalosti studentů získané pomocí vypracovaného edukačního textu budou mít normální rozdělení“. Statistické šetření prokázalo normální rozdělení znalostí studentů (Gaussova křivka) a tím i přiměřenost edukačního textu možnostem respondentů – tj. možnostem adresátů edukace. Obě základní hypotézy a rovněž i dodatečně naformulované předpoklady byly ověřeny metodami neparametrického a parametrického testování a rovněž i metodami deskriptivní statistiky.

Cílem práce bylo vybrat teorii přenosu vědeckých poznatků na úroveň uvedených studijních oborů, dalším cílem bylo vytvořit edukační text cestou, která respektuje vybranou teorii. Posledním cílem bylo experimentální ověření edukačního textu z hlediska možností adresátů. Z hlediska ověření hypotéz práce a také dodatečně naformulovaných předpokladů lze považovat cíle práce za cíle, které byly naplněny.

Lze předpokládat, že bakalářská práce má vedle dosažených teoretických výstupů (aplikace teorie kurikulárního procesu na radiologickou fyziku) také výstupy praktické – edukační text i edukační test lze použít ve vysokoškolské výuce radiologické fyziky pro studijní obor „Radiologický asistent“ a pro studijní obory příbuzné.

Výsledky práce generují také návrhy dalších možných výzkumných prací.

9. Literatura

1. ZÁŠKODNÝ, P., *Kurikulární proces fyziky (s přehledem základů teoretické fyziky)*. ISBN 978-80-902491-0-3
2. NAVRÁTIL, L., ROSINA, J., a kolektiv. *Medicínská biofyzika*. Praha: GRADA, 2005. ISBN 978-80-247-1152-2
3. ZÁŠKODNÝ, P. *Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii)*. Bratislava: Didaktis, 2005. ISBN 80-89160-25-5
4. ZÁŠKODNÝ, P. HAVRÁNKOVÁ, R., HAVRÁNEK, J., VURM, V. *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)* Praha: CURRICULUM, 2011. ISBN 978-80-904948-2-4
5. KOZLOVSKÁ, D. FREITINGER SKALICKÁ, Z., ZÁŠKODNÝ, P., *Úvod do praktika z radiologické fyziky 1.vyd.* ZSF JU, 2005. ISBN 80-7040-797-2.
6. PODGORSÁK, E. B. *Radiation oncology physics : a handbook for teachers and students*. Vienna: IAEA, 2005. ISBN 92-0-107304-6
7. ROZMAN, J. a kol. *Elektronické přístroje v lékařství*. Praha: ACADEMIA, 2006. ISBN 80-200-1308-3
8. SKÁLA, L. *Úvod do kvantové mechaniky 1.vyd.* Praha: ACADEMIA, 2005. ISBN 80-200-1316-4

9. HALLIDAY, D. RESNICK, R., WALKER, J. *Fundamentals of physics-8th ed. John Wiley&Sons, Inc.*, 2008. ISBN 978-0-470-04472-8
10. RUBCHUK, J. A. *The Gauss Rifle and Magnetic Energy* [online]. 2003. Dostupné z www: <http://scitation.aip.org/journals/doc/PHTEAH-ft/vol_41/iss_3/158_1.html>
11. ČÁKIOVÁ, J. *Německý vzdělávací systém*. Pro ICM NIDM MŠMT, duben 2006, aktualizace: duben 2010 MgA. Karolína Némethová. Dostupné z www: <<http://www.rvp.cz/clanek/287/510>>, <http://www.dija.de/downloads/downloads/Deutschland_Tschechisch.pdf>, <<http://www.tandem.adam.cz/section.php?seid=8>>
12. Uniklinik Köln – Pflegedirektion, *Schule für medizinisch-technische Radiologieassistenten (MTRA)* [online]. 2013 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z www: <<http://pfllege.uk-koeln.de/ausbildung/mtra>>
13. EURES. *Školský systém v Německu* [online]. Datum poslední aktualizace 11. 12. 2012 [cit. 3. 4. 2013]. Dostupné z www: <<http://www.eures.sk/skolsky-system-v-nemecku-497-1.html>>
14. WALTEROVÁ, E. *Struktura vzdělávacího systému v Německu* [online]. Pro RVP. 2006. Dostupné z www: <<http://clanky.rvp.cz/clanek/o/z/510/STRUKTURA-VZDELAVACIHO-SYSTEMU-V-NEMECKU.html/>>
15. Dawson College [online]. 2013 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z www: <<http://www.dawsoncollege.qc.ca/programs/science-medical-studies-and-engineering/diagnostic-imaging/program-home-page>>

16. Kingston University London [online]. 2013 [cit. 2013-5-12] Dostupné z www: <http://www.kingston.ac.uk/undergraduate-course/diagnostic-radiography-2013/after-you-graduate.html>
17. HINDLS, R., HRONOVÁ, S., SEGER, J., FISCHER, J. *Statistika pro ekonomy*. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN: 978-80-86946-43-6
18. JANOČ, V., KOUBEK, J., PECEN, I. *Vybrané kapitoly z didaktiky fyziky*. Bratislava: MFF UK, 1999.
19. ČÁP, J., MAREŠ, J. *Psychologie pro učitele*. Praha: Portál, 2001. ISBN 80-7178-463-X
20. MAREŠ, J. *Styly učení žáků a studentů*. Praha: Portál, 1998. ISBN 80-7178-246-7.
21. ZÁŠKODNÝ, P., HAVRÁNKOVÁ, R., HAVRÁNEK, J., VURM, V., *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)*. Praha: CURRICULUM, 2011. ISBN 978-80-904948-2-4.
22. TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P., *Odmaturuj z fyziky*. 2. vyd. Brno: Didaktis spol. s r. o., 2006. ISBN 80-7358-058-6.
23. KOČANDRLE, M., BOČEK, L., *Matematika pro gymnázia - Analytická geometrie*. Prometheus, 2008. ISBN 978-80-7196-390-5.
24. GRAHAM, D. T., CLOKE, P., VOSPER, M. *Principles and Applications of Radiological Physics*. London: Elsevier Health Sciences 2012. ISBN 13: 9780702052156.
25. BINAROVÁ, A., *Radioterapie*. 1. vyd. Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií: Tribun, 2010. ISBN 978-80-7368-701-4.

26. BUSHONG, S. C. *Radiologic Science for Technologists*. St.Louis/US: Elsevier - Health Sciences Division 2012. ISBN 13: 9780323081351.
27. Education Portal – Radiological Science and Technologies [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z www: <http://education-portal.com/x-ray_technician_school.html>
28. University of Utah – School of Medicine, *Department of Radiation Oncology* [online]. Dostupné z www: <<http://medicine.utah.edu/radoncol/>>
29. Keiser University, *Associate of Science in Radiologic Technology* [online]. 2013 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z www: <<http://www.keiseruniversity.edu/radiological-tech-as.php>>
30. Radiology Schools, *Radiology Masters Degree* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z www: <<http://www.radiology-schools.com/radiology-masters-degree.html>>
31. National Academic Recognition Information Centre, *Vysokoškolský vzdělávací systém* [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z www: <www.naric.cz/docs/vysokoskolsky-vzdelavaci-system-0110.pdf>
32. Čakiová, J., *Britský vzdělávací systém* [online]. 2006 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z www: <<http://www.nicm.cz/britsky-vzdelavaci-system>>
33. Hacked Gadgets [online]. 2012 [cit. 2012-4-23]. Dostupné z www: <<http://hackedgadgets.com/2007/03/05/van-de-graaff-generator/>>
34. Electro Schematics [online]. 2012 [cit. 2012-4-21]. Dostupné z www: <<http://www.electroschematics.com/8313/voltage-multiplier-led-driver/>>
35. AstroNuklFyzika [online]. 2012 [2012-4-25]. Dostupné z www: <<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika5.htm>>

36. Molecular Expressions - Optical Mikroskopy Primer, *Physics of Light and Color* online. 2012 [2012-4-22]. Dostupné z www: <<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/wavebasics/>>

37. Science Toys [online]. 2012 [cit. 2012-4-23]. Dostupné z www: <<http://sci-toys.com/scitoys/scitoys/magnets/gauss.html>>

10. Přílohy

10.1 Publikace autora bakalářské práce

How to explain the relativistic principle of the linear accelerator (Relativistic electron in an electrostatic field)

Student work

Author: Marek Vodvářka

University of South Bohemia, Ceske Budejovice, Czech Republic

Email: mrvodvarka@seznam.cz

Key words:

Intended curriculum, classical motion equation, relativistic equation, integration, description of hyperbola

Abstract:

Presented student work can be taken as a part of intended curriculum within the higher education institute „University of South Bohemia, Faculty of Health and Social Studies“. The explanation of theoretical physics principles of relativistic elektron motion is very important part of radiology students education.

Introduction (see P.Zaskodny, P.Tarabek, 2011)

i) Data Preprocessing in Physics Education

Result of Data Preprocessing – Educational Communication of Physics (or Other Natural Science) as a succession of transformations of education content forms:

- The transformation T1 is transformation of scientific system of physics to communicable scientific system of physics (the first form of education content existence),

- The transformation T2 is transformation of communicable scientific system of physics to educational system of physics (the second form of education content existence),

- The transformation T3 is transformation of educational system of physics to both instructional project of physics and preparedness of educator to education (the third and fourth forms of education content existence),

- The transformation T4 is transformation of both instructional project of physics and preparedness of educator to results of education (the fifth form of education content existence),

- The transformation T5 is transformation of results of physics education to applicable results of physics education (the sixth form of education content existence)

ii) Data Processing in Physics Education

Result of Data Processing – Curricular Process of Physics as a succession of transformations of algorithmized and formalized education content forms:

i. The form of education content existence - “variant form of curriculum”

ii. The curriculum - “education content”

iii. The variant forms of curriculum have got the universal structure (four structural elements - sense and interpretation, set of objectives, conceptual knowledge system, factor of following transformation)

iv. The variant forms of curriculum were selected on the basis of fusion of Anglo-American curricular tradition and European didactic tradition

v. The curricular process is defined as the succession of transformations T1-T5 of curriculum variant forms:

“conceptual curriculum” (output of T1, the first variant form of curriculum) - the communicable scientific system of physics (or other natural science)

“intended curriculum” (output of T2, the second variant form of curriculum) - the educational system of physics (or other natural science)

“projected curriculum” (output of T3, the third variant form of curriculum) - the instructional project of physics (or other natural science)

“implemented curriculum-1” (output of T3, the fourth variant form of curriculum) - the preparedness of educator to education

“implemented curriculum-2” (output of T4, the fifth variant form of curriculum) – the results of education

“attained curriculum” (output of T5, the sixth variant form of curriculum) - applicable results of education

iii) Classification of Presented Student Work

Presented student work can be taken as a part of intended curriculum within the higher education institute „University of South Bohemia, Faculty of Health and Social Studies“. The explanation of theoretical physics principles of relativistic elektron motion is very important part of radiology students education.

1. Classical equation of motion

$$\vec{F} = m\ddot{\vec{r}} \Rightarrow \vec{F} = m \frac{d\dot{\vec{r}}}{dt} \Rightarrow \quad m = \text{konst.} \quad \frac{v}{c} \rightarrow 0 \Rightarrow m = m_0$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad U = 10^2 \text{V} \Rightarrow v \approx 2\% c$$

2. Relativistic equation of motion

$$\frac{v}{c} \not\ll 0 \Rightarrow m \neq \text{konst.} \Rightarrow \vec{F} = \frac{d}{dt}(m\dot{\vec{r}}) \Rightarrow \dot{\vec{r}} = \dot{\vec{x}}$$

-relativistic electron is spreading only along the x axis



$$U = 3,1 \text{MV} \Rightarrow v \rightarrow c \Rightarrow m = 7 \cdot m_0$$

Mass m isn't equal to constant = relativistic accelerator (in contrast to the classical accelerator)

3. Solution of the motion relativistic equation

$$\vec{F}(-eE, 0, 0) \Rightarrow F_x = \frac{d}{dt}(m\dot{x}) \Rightarrow -eEdt = d(m\dot{x})$$

3.1. The first integration

$$\int -eEdt = \int d(m\dot{x}) \Rightarrow m\dot{x} = -eEt \wedge m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \wedge v = \dot{x}$$

The substitution of mass m

$$\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\dot{x}^2}{c^2}}} \cdot \dot{x} = -eEt$$

3.2. Adjustment of the first integration

$$a = -\frac{eE}{m_0}$$

$$\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\dot{x}^2}{c^2}}} \cdot \dot{x} = -eEt \Rightarrow \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\dot{x}^2}{c^2}}} \cdot \dot{x} = -eEt / : m_0 \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\dot{x}^2}{c^2}}} \cdot \dot{x} = -\frac{eE}{m_0} \cdot t \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\dot{x}^2}{c^2}}} \cdot \dot{x} = at /^2 \Rightarrow$$

$$\frac{\dot{x}}{c^2 - \dot{x}^2} = a^2 t^2 \Rightarrow \frac{\dot{x}^2}{1} \cdot \frac{c^2}{c^2 - \dot{x}^2} = a^2 t^2 \Rightarrow$$

$$\frac{\dot{x}^2 c^2}{c^2 - \dot{x}^2} = a^2 t^2 / c^2 - \dot{x}^2 \Rightarrow \dot{x}^2 c^2 = a^2 t^2 (c^2 - \dot{x}^2) \Rightarrow \dot{x}^2 c^2 = a^2 t^2 c^2 - a^2 t^2 \dot{x}^2 \Rightarrow$$

$$\dot{x}^2 c^2 + a^2 t^2 \dot{x}^2 = a^2 t^2 c^2 \Rightarrow \dot{x}^2 (c^2 + a^2 t^2) = a^2 t^2 c^2 / : c^2 \Rightarrow \dot{x}^2 \left(\frac{c^2}{c^2} + \frac{a^2 t^2}{c^2} \right) = a^2 t^2 \Rightarrow$$

$$\dot{x} \sqrt{\left(1 + \frac{a^2 t^2}{c^2} \right)} = at \Rightarrow \dot{x} = \frac{at}{\sqrt{1 + \left(\frac{at}{c} \right)^2}}$$

3.3. The proof of the principle of light constant speed

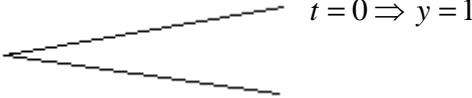
$$\lim_{t \rightarrow \infty} \dot{x} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{at}{\sqrt{1 + \left(\frac{at}{c} \right)^2}} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{a^2 t^2} + \frac{1}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\infty} + \frac{1}{c^2}}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{c}{1} = c$$

$v \in \langle 0, c \rangle \Rightarrow$ the matter particles can never to reach the speed of light

3.4. The second integration – the way to motion law

$$\dot{x} = \frac{at}{\sqrt{1+\left(\frac{at}{c}\right)^2}} \Rightarrow \frac{dx}{dt} = \frac{at}{\sqrt{1+\left(\frac{at}{c}\right)^2}} \Rightarrow dx = \frac{at}{\sqrt{1+\left(\frac{at}{c}\right)^2}} dt \Rightarrow x = \int_0^t \frac{atdt}{\sqrt{1+\left(\frac{at}{c}\right)^2}}$$

i) Introduction of substitution

$$y = 1 + \left(\frac{at}{c}\right)^2 \Rightarrow$$


$$t = 0 \Rightarrow y = 1$$

$$t = t \Rightarrow y = 1 + \left(\frac{at}{c}\right)^2$$

ii) Introduction of integration according to y

$$y \Rightarrow \frac{dy}{dt} = 2 \frac{at}{c} \cdot \frac{a}{c} \Rightarrow atdt = \frac{c^2}{2a} dy$$

$$x = \int_0^t \frac{atdt}{\sqrt{1+\left(\frac{at}{c}\right)^2}} \Rightarrow x = \int_1^{1+\left(\frac{at}{c}\right)^2} \frac{c^2/2a}{\sqrt{y}} = \frac{c^2}{2a} \left[2y^{\frac{1}{2}} \right]_1^{1+\left(\frac{at}{c}\right)^2} = \frac{c^2}{a} \left(\sqrt{1+\left(\frac{at}{c}\right)^2} - 1 \right)$$

4. Interpretation - hyperbolic relativistic electron motion

$$x = \frac{c^2}{a} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{at}{c}\right)^2} - 1 \right) \Rightarrow x = \frac{c^2}{a} \sqrt{1 + \left(\frac{at}{c}\right)^2} - \frac{c^2}{a} \Rightarrow x^2 = \frac{c^4}{a^2} \left[1 + \left(\frac{at}{c}\right)^2 - \frac{c^4}{a^2} \right]$$

$$\Rightarrow \left(x + \frac{c^2}{a} \right)^2 = \frac{c^4}{a^2} \left(\frac{c^2}{c^2} + \frac{a^2 t^2}{c^2} \right) \Rightarrow \left(x + \frac{c^2}{a} \right)^2 = \frac{c^6}{a^2 c^2} + \frac{c^4 a^2 t^2}{a^2 c^2} \Rightarrow$$

$$\left(x + \frac{c^2}{a} \right)^2 = \frac{c^4}{a^2} + c^2 t^2 \Rightarrow \left(x + \frac{c^2}{a} \right)^2 - c^2 t^2 = \frac{c^4}{a^2}$$

$$\left(x + \frac{c^2}{a} \right)^2 - c^2 t^2 = \frac{c^4}{a^2} / : \frac{c^4}{a^2} \Rightarrow \frac{\left(x + \frac{c^2}{a} \right)^2}{\frac{c^4}{a^2}} - \frac{(t-0)^2}{\frac{c^2}{a^2}} = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b} = \frac{c^2/a}{c/a} = c$$

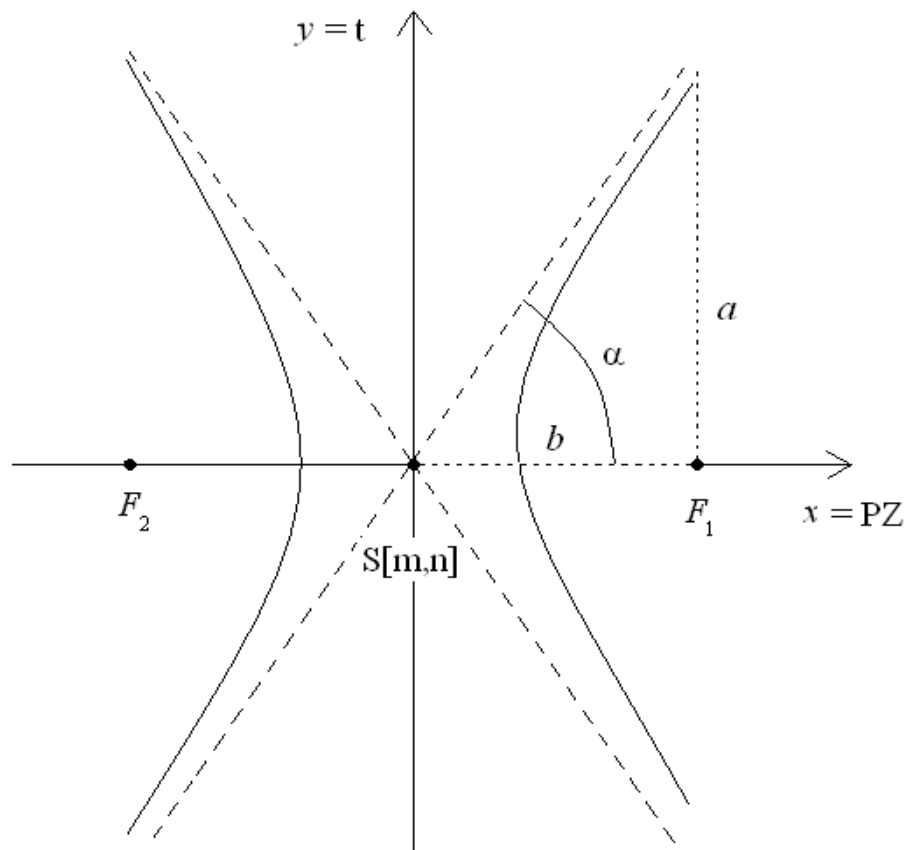
The angular coefficient of asymptote is given by formula

It show – the relativistic electron motion has got the hyperbolic character and the speed of light is not possible to exceed.

4.1. Description of hyperbola

Equation of hyperbola:

$$\frac{(x+m)^2}{a^2} - \frac{(y-n)^2}{b^2} = 1$$



Definition of hyperbola:

Set of points whose distances from the difference foci F_1, F_2 is equal to constant.

Angular coefficient of hyperbola:

Angular coefficient of asymptote is given by $\operatorname{tg} \alpha$

Conclusion

The explanation of relativistic electron motion physics principles will be given as an essential part of intended curriculum for higher education. The presented explanation is needful for understanding relativistic electron motion in radiology.

References

Tarabek,P., Zaskodny,P. (2011). Educational and Didactic Communication 2010. Bratislava, Slovak Republic: Didaktis.

ISBN 978-80-8916046-4

Zaskodny,P. (2006). Survey of Principles of Theoretical Physics (with application to radiology). Luzern, Switzerland: Avenir.

ISBN 80-902491-9-1

Zaskodny,P. (2009). Kurikulární proces fyziky. Luzern, Switzerland: Avenir.

ISBN 978-80-902491-0-3

The basic physical principle of linear particle accelerator

Marek Vodvarka¹

¹ University of South Bohemia, Ceske Budejovice, Czech Republic
mrvodvarka@seznam.cz

Abstract:

The paper deals with a simplified explanation of linear accelerators for radiological assistants. It was created training text, which was later presented at students of south Radiology Assistant at the University of South Bohemia. Teaching material is focused on explaining the basic physical principles of relativistic linear accelerator. Shows the path from the equations of motion to the motion law. Should students helped to facilitate understanding of the physical processes taking place in equipment such as linear accelerators. This article is a continuation of the already published article *How to explain the relativistic principle of the linear accelerator (Relativistic electron in an electrostatic field)*.

I. INTRODUCTION

1. DATA PREPROCESSING IN PHYSICS EDUCATION

Result of Data Preprocessing – Educational Communication of Physics (or Other Natural

Science) as a succession of transformations of education content forms:

- The transformation T1 is transformation of scientific system of physics to communicable scientific system of physics (the first form of education content existence),
- The transformation T2 is transformation of communicable scientific system of physics to educational system of physics (the second form of education content existence),
- The transformation T3 is transformation of educational system of physics to both instructional project of physics and preparedness of educator to education (the third and fourth forms of education content existence),
- The transformation T4 is transformation of both instructional project of physics and preparedness of educator to results of education (the fifth form of education content existence),
- The transformation T5 is transformation of results of physics education to applicable results of physics education (the sixth form of education content existence)

2. DATA PROCESSING IN PHYSICS EDUCATION

Result of Data Processing – Curricular Process of Physics as a succession of transformations of algorithmized and formalized education content forms:

- i. The form of education content existence - "variant form of curriculum"
 - ii. The curriculum - "education content"
 - iii. The variant forms of curriculum have got the universal structure (four structural elements - sense and interpretation, set of objectives, conceptual knowledge system, factor of following transformation)
 - iv. The variant forms of curriculum were selected on the basis of fusion of Anglo-American curricular tradition and European didactic tradition.
- v. The curricular process is defined as the succession of transformations T1-T5 of curriculum variant forms:
- "conceptual curriculum" (output of T1, the first variant form of curriculum) - the communicable scientific system of physics (or other natural science)
 - "intended curriculum" (output of T2, the second variant form of curriculum) - the educational system of physics (or other natural science)
 - "projected curriculum" (output of T3, the third variant form of curriculum) - the instructional project of physics (or other natural science)
 - "implemented curriculum-1" (output of T3, the fourth variant form of curriculum) - the preparedness of educator to education
 - "implemented curriculum-2" (output of T4, the fifth variant form of curriculum) - the results of education
 - "attained curriculum" (output of T5, the sixth variant form of curriculum) - applicable results of education

3. CLASSIFICATION OF PRESENTED STUDENT WORK

Presented student work can be taken as a part of intended curriculum within the higher education

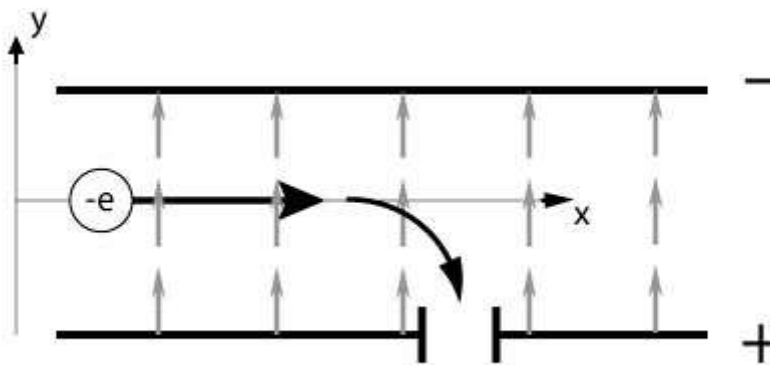
institute „University of South Bohemia, Faculty of Health and Social Studies“. The explanation

of theoretical physics principles of linear particle accelerator is very important part of radiology students education.

A. Charged particles in a transverse uniform electric field

Homogeneous electric field is located between the parallel and oppositely charged plates. Intensity in a homogeneous electric field, in all places of the same magnitude and direction, ie it is constant. The intensity of the direction from the positive to the negative charge and the field lines are all parallel.

Initial conditions:



$$\vec{F}(0, -eE, 0)$$

$$\vec{v}(v_0, 0, 0)$$

$$\vec{r}(0, 0, 0)$$

$$t = 0$$

The way from the equations of motion to the motion law:

$$\vec{F} = m\ddot{\vec{r}} \Leftrightarrow$$

$$F_x = m\ddot{x} \wedge F_y = m\ddot{y} \wedge F_z = m\ddot{z}$$

The first integration

$$\vec{F}(0, -eE, 0) \Rightarrow$$

$$0 = m\ddot{x} \wedge -eE = m\ddot{y} \wedge 0 = m\ddot{z}$$

$$0 = d\dot{x} \wedge \frac{-eE}{m} dt = d\dot{y} \wedge 0 = d\dot{z}$$

The second integration

$$C_1 = \dot{x} \wedge \frac{-eE}{m} t + C_2 = \dot{y} \wedge C_3 = \dot{z}$$

$$\dot{x} = v_0 \wedge \dot{y} = \frac{-eE}{m} t \wedge \dot{z} = 0$$

$$x = v_0 t \wedge y = \frac{-eE}{2m} t^2 \wedge z = 0$$

$$\boxed{\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= v_0 \\ \int dx &= \int v_0 dt \\ x &= v_0 t + C_4 \end{aligned}}$$

Laws of Motion: $\vec{r} = v_0 t \vec{i} + \left(\frac{-eE}{2m} t^2 \right) \vec{j} + 0 \vec{k}$

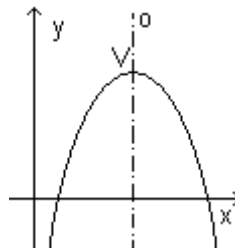
Finding the shape of the track and the connection point:

Quadratic function: $y = -\frac{1}{2} \frac{eE}{mv_0^2} x^2$

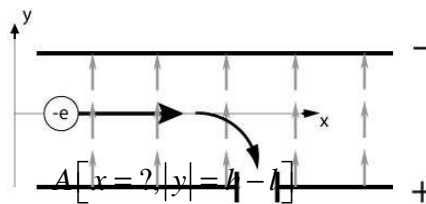
$$y = ax^2 + bx + c$$

$$b = 0, c = 0, a = \frac{-eE}{2mv_0^2}$$

The result is inverted parabola:



Place of connection:



$$x = \sqrt{\frac{2mv_0(h-l)}{eE}}$$

l = distance between the plates

h = distance of the electron and the capacitor plates

v_0 = initial velocity of the electron

B. Charged particles in a longitudinal uniform electric field

Initial conditions:

$$\vec{E}(E, 0, 0)$$

$$\vec{F}(-eE, 0, 0)$$

$$\vec{v}(v_0, 0, 0)$$

$$\vec{r}(0, 0, 0)$$

From the equations of motion to the motion law

$$-eE = m\ddot{x} \wedge 0 = m\ddot{y} \wedge 0 = m\ddot{z}$$

$$\dot{x} = \frac{-eE}{m}t + C_1$$

$$\dot{x} = \frac{-eE}{m}t + v_0$$

After integration

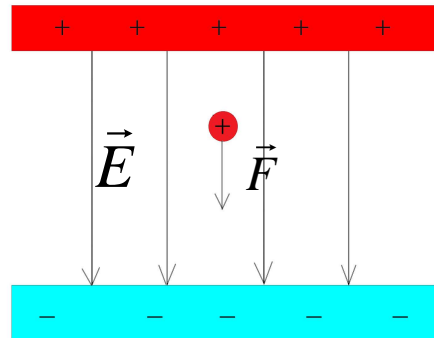
$$x = \frac{-eE}{2m}t^2 + v_0t$$

Accelerating with acceleration: $a = \frac{eE}{m}$

Laws of Motion: $\vec{r}(t) = \left(\frac{-eE}{2m}t^2 + v_0t \right) \vec{i} + 0\vec{j} + 0\vec{k}$

Linear accelerator and radiotherapy

One of the simplest particle accelerators can be created by an electric field between two electrodes.



$$\vec{F} = q\vec{E}$$

With another simple accelerator can be found in the classic television screen. Electric fields are however moving at about 15kV and energy electrons hitting the screen is so 15keV.

Linear accelerator for high energy

Several cylindrical electrodes are placed in a row, and each is connected to AC power $u = U \cos \omega t$. Passing particle is accelerated by a potential difference between the electrodes. These are reverse polarity when the particle is inside the electrode and does her no field. With increasing speed, must be suitably chosen length of the cylindrical electrode to the electrode during the passing particles could change the polarity. The higher the speed, the longer the electrode. Passing the particles between electrodes gain energy $E = qU$. After passing the whole accelerator energy $E = nqU$. Particle of mass m and charge Q coming from the source. The first cylinder V_1 has positive potential for electrons U . Particles will then speed:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2Q2U}{m}}$$

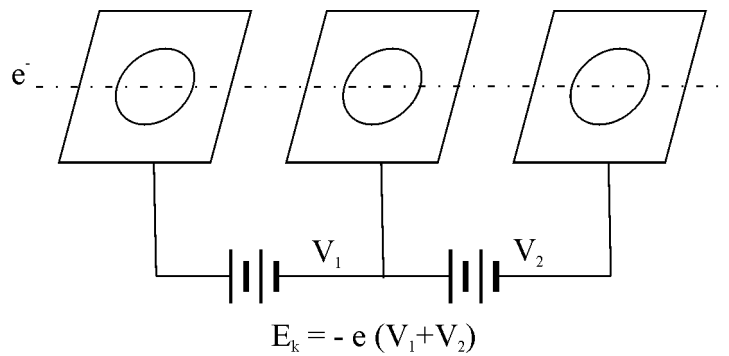
and this will pass the length of cylinder speed V_1 at time t

$$l_1 = v_1 t$$

If the frequency $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$ selected so that the accelerated particles entering the gap between the rolls at a time $t = \frac{T}{2}$, when the electrodes are no polarity, so will re-accelerate.

Electrostatic linear accelerators

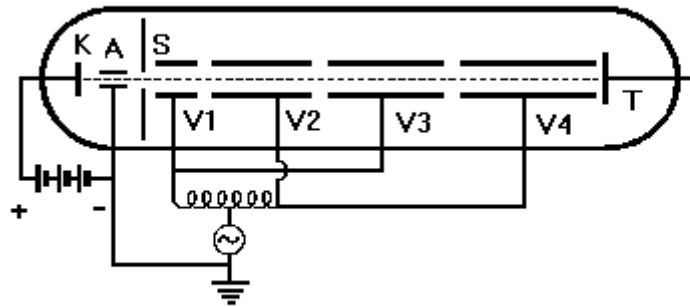
Charged particles are directly accelerated in the accelerating tube. The electrodes of the tube is connected to a source of high DC voltage, such as a Van de Graaff generator or cascade multipliers.



The electrostatic accelerator tube linac energy particles reach 1 to 2MeV. Nowadays healthcare rather have a historical significance, as they were space consuming and difficult-to-handle.

High-frequency linear accelerator

Used to accelerate particles either set of cylindrical electrodes or cavity resonator with progressive or standing wave.



Linear accelerator with cylindrical electrodes

Several resonant cavities coupled together make up the accelerating structure. After developing a radio-frequency sources (magnetron, klystron) and other related microwave components laid the foundation for microwave linear accelerator.

Microwave linear accelerator

Dimensions of the resonant cavity is closely related to the wavelength of the used radiation.

Wavelength in speeding alternating fields:	50 Hz	$\lambda = 6000 \text{ km}$
	3 GHz	$\lambda = 10 \text{ cm}$

In radiotherapy are practically applicable only to high frequency sources, for low frequencies would have too high requirements to the size of the device.

Actually used frequency: high-energy accelerators = 2,856 GHz
low-energy accelerators = 2,998 GHz

Accelerator uses microwave radiation usually has four parts:

modulator

- Removes electrical power from the local grid
- Produces high-voltage pulses
- Containing the switching elements to control the high voltage pulse (thyatron,

Thyristor)

electron source

- Or electron gun electron gun
- Electron gun electron pulses injected into the accelerating structure (energy 15-40 keV)

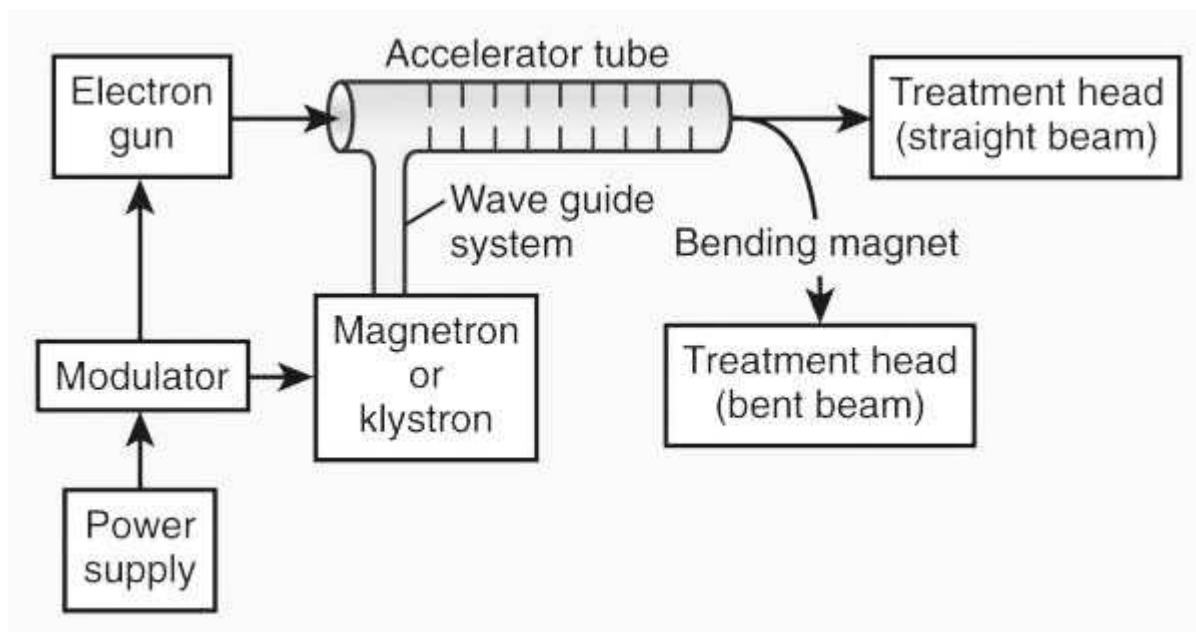
Source of RF energy

- Magnetron or klystron
- Microwave cavities: the circle (magnetron)
in line (klystron)
- Magnet controls the electron beam
- Volume of electrons from the cathode is used for excitation of microwave energy in the cavities
- Reinforced microwave radiation is converted into the waveguide

accelerating structure

- waveguide
- Special hollow metal pipe used to transport microwave radiation
- Consists of several copper resonant cavities coupled together in a straight line (linear)
- 2 basic types: a traveling wave tube
the standing wave
- 2 different areas: clustering (Buncher)
acceleration
- Electrons injected into the waveguide due to wave too early in the clustering area are slowed down and injected electrons are accelerated too late
- Injected with a speed of around 0.4 c (energy of about 40 keV)

- In the second part of the particles are accelerated to a speed close to the speed of light after reaching the required energy particles either fall onto a metal target (formation of X-rays) or are directly used to irradiate



Block diagram of the medical linear accelerator

II. CONCLUSION

Concise and comprehensive physical basis linear accelerator is needed for the education of students of Radiology assistant. Without understanding the basic principles of operation of these devices is the future praconíků expertise incomplete. Some theoretical knowledge is for practice may seem almost superfluous, but the basic outline of the apparatus with which the hospital staff working, is indispensable.

III. REFERENCES

- [1] TARABEK, P., ZASKODNY, P. (2011). Educational and Didactic Communication 2010. Bratislava, Slovak Republic: Didaktis. ISBN 978-80-8916046-4.
- [2] ZASKODNY, P. (2006). Survey of Principles of Theoretical Physics (with application to radiology). Luzern, Switzerland: Avenir. ISBN 80-902491-9-1.
- [3] ZASKODNY, P. (2009). Kurikulární proces fyziky. Luzern, Switzerland: Avenir. ISBN 978-80-902491-0-3