

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

Barbora Veselá

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta

**Základy fyziky klasických kruhových urychlovačů  
pro radiologické asistenty**

bakalářská práce

Autor práce: Barbora Veselá  
Studijní program: Specializace ve zdravotnictví  
Studijní obor: Radiologický asistent  
Vedoucí práce: doc. RNDr. Přemysl Záškodný, CSc.  
Datum odevzdání práce: 02. 05. 2013

## **Prohlášení**

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

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

V Českých Budějovicích dne 02. 05. 2013

.....

Barbora Veselá

## **Poděkování**

Děkuji panu doc. RNDr. Přemyslu Záškodnému, CSc. za cenné rady a neutuchající trpělivost s mou osobou.

## Abstrakt

Jako vybraná teorie přenosu poznatků z vědecké radiologické fyziky (v oblasti fyzikálních základů klasických kruhových urychlovačů) ke studentům radiologických oborů byla použita teorie kurikulárního procesu. Tato teorie byl 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  $T^1$ - $T^5$  variantních forem kurikula:

"konceptuální kurikulum" jako sdělitelný vědecký systém radiologické fyziky (první variantní forma kurikula jako výstup transformace  $T^1$  od vědeckého systému ke sdělitelnému vědeckému systému)

"zamýšlené kurikulum" jako vzdělávací systém radiologické fyziky (druhá variantní forma kurikula jako výstup transformace  $T^2$  od sdělitelného vědeckého systému ke vzdělávacímu systému)

"projektové kurikulum" jako vzdělávací projekt radiologické fyziky (třetí variantní forma kurikula jako výstup transformace  $T^3$  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  $T^4$  od výukového projektu k realizaci výuky)

"implementované kurikulum-2" jako výsledky vzdělávání v radiologické fyzice (pátá variantní forma kurikula jako druhý výstup transformace  $T^4$  od výukového projektu k realizaci výuky)

"dosažené kurikulum" jako použitelné výsledky vzdělávání v radiologické fyzice (šestá variantní forma kurikula jako výstup transformace  $T^5$  od realizace výuky k uplatnění dosažených výsledků výuky).(24)

V bakalářské práci byly v oblasti fyzikálních základů klasických kruhových urychlovačů 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 k zjištění výsledků experimentální výuky v oblasti fyzikálních základů klasických kruhových urychlovačů.

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 klasických kruhových urychlovačů u studentů prezenčního a kombinovaného studia.

Bakalářská práce vycházela z ověřování dvou hypotéz:

a) přiměřený edukační text v oblasti fyzikálních základů klasických kruhových urychlovačů lze vytvořit aplikací kurikulárního procesu

b) znalosti studentů v oblasti fyzikálních základů klasických kruhových urychlovačů 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.

Vedle ověření hypotéz práce a analýzy vzdělávání radiologických asistentů v zahraničí patří dále mezi výsledky bakalářské práce

- v angličtině publikovaná podoba konceptuálního kurikula v oblasti fyzikálních základů klasických kruhových urychlovačů v rámci mezinárodní konference OEDM SERM 2011,

- dvě další anglicky napsané publikace předložené mezinárodní konferenci OEDM SERM 2012,

- v přílohách bakalářské práce předložený edukační text a edukační test v oblasti fyzikálních základů klasických kruhových urychlovačů.

Na základě ověřených hypotéz a přehledu dalších dosažených výsledků bakalářské práce lze považovat cíle bakalářské práce za splněné.

## Abstract

As the selected theory of transfer of knowledge from the scientific radiological physics (in the sphere of physical bases of circular accelerators) 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  $T^1$ - $T^5$  variant forms of curriculum:

"conceptual curriculum" as a communicable scientific system of radiological physics (first variant form of curriculum as transformation  $T^1$  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  $T^2$  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  $T^3$  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  $T^4$  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  $T^4$  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  $T^5$  output from implementation of teaching to application of the results of teaching).



In this thesis, in the sphere of physical bases of circular accelerators 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 circular accelerators.

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 circular accelerators 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 circular accelerators can be created by application of curriculum process
- b) students' knowledge in the sphere of physical bases of circular accelerators 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.

Further, apart from verification of hypotheses of work and analysis of radiological students education abroad, the thesis results include

-in English published form of conceptual curriculum in the sphere of physical bases of circular accelerators at the international conference OEDM SERM 2011,

-two other publications written in English presented to the international conference OEDM SERM 2012,

-in the annexes of the thesis is presented educational text and educational test in the sphere of circular accelerators.

Based on the verified hypotheses and the survey of further results, the targets of the thesis can be considered fulfilled.

## Obsah

1. Úvod.....	11
1.1 Vymezení pojmů.....	11
1.2 Současný stav.....	12
1.2.1 Vlastní publikace.....	12
1.2.2 Systémy vzdělávání radiologických asistentů v zahraničí .....	14
1.2.2.1 Kanadské školství.....	15
1.2.2.2 Americké školství.....	15
1.2.2.3 Školství ve Velké Británii .....	18
1.2.2.4 Německé školství .....	18
1.2.2.5 Australské školství .....	21
1.2.3 České školství.....	22
1.2.4 Srovnání oboru „Radiologický asistent“ u nás a v zahraničí .....	22
1.2.5 Studijní podklady – Fyzikální základy kruhových urychlovačů .....	27
1.2.6 Teorie kurikulárního procesu .....	28
1.2.7 Aplikace statistických metod.....	30
2. Hypotézy a cíle.....	32
3. Metodika .....	34
4. Výsledky .....	47
5. Diskuze.....	57
6. Závěry .....	60
7. Literatura .....	62
8. Klíčová slova.....	68
9. Přílohy.....	69
9.1 Edukační text – upravený pro studenty .....	69
9.2 Test upravený pro studenty JU .....	76
9.3 Edukační text – konceptuální kurikulum.....	79
9.4 Test pro konceptuální kurikulum.....	89
9.5 Publikace autorky bakalářské práce.....	99

# 1. Úvod

## *1.1 Vymezení pojmů*

V Úvodu bakalářské práce budou stručně popsány některé základní pojmy, zhruba charakterizovány podstatné cíle a předpoklady a posléze ukázána struktura postupu práce.

V současné době není volně k dispozici edukační text na téma „Fyzikální základy klasických kruhových urychlovačů“, který by byl přiměřený znalostem studentů studijního oboru „Radiologický asistent“ a dalších příbuzných oborů. Tento problém bude řešit předkládaná bakalářská práce. V práci byly stanoveny tři cíle:

- za prvé výběr teorie přenosu vědeckých poznatků na úroveň uvedených studijních oborů,
- za druhé vytvoření edukačního textu cestou, která respektuje vybranou teorii,
- za třetí experimentální ověření edukačního textu z hlediska možností adresátů.

Předpokládalo se, že edukační text pro radiologické asistenty lze vytvořit aplikací teorie kurikulárního procesu. Druhým předpokladem bylo, že znalosti studentů získané prostřednictvím vypracovaného edukačního textu budou mít normální rozdělení.

Metodiku práce, a tím i její strukturu, lze jednoduše popsat pěti body.

- Nejdříve se musel analyzovat vědecký systém,
- Pak se zkoumaný vědecký systém transformoval na sdělitelný vědecký systém,
- Následovala tvorba vlastního edukačního textu na základě zmíněné analýzy vědeckého systému,
- Vytvořený edukační text byl pak ověřen experimentální výukou studentů studijního oboru radiologický asistent a dalších příbuzných oborů, především byla ověřena edukační funkce tohoto textu,

- Následně byl zkonstruován test pro ověření získaných znalostí studentů, jehož výsledky byly statisticky vyhodnoceny.

Lze předpokládat, že práce bude v praxi dále využita. Práce může dále sloužit jako výukový materiál studentům studijního oboru radiologický asistent a dalších příbuzných oborů.

## ***1.2 Současný stav***

### **1.2.1 Vlastní publikace**

V rámci struktury studijního oboru „Radiologický asistent“ bohužel nebyl prostor k širším debatám a také v literatuře nebyl nalezen uspokojivý edukační text „Fyzikální základy klasických kruhových urychlovačů“ v českém jazyce, proto za téma bakalářské práce byla vybrána možnost edukační text „Fyzikální základy klasických kruhových urychlovačů“ vytvořit a jeho přiměřenost pro studenty příslušných studijních oborů ověřit.

V současné době není volně k dispozici jednoduchý edukační text na téma „Fyzikální základy cyklotronu“, který by byl přiměřený znalostem studentů studijního oboru „Radiologický asistent“ a dalších příbuzných oborů. Součástí práce byl tedy pokus napsat edukační text a vyučovat studenty prvního a druhého ročníku, a to jak prezenčního, tak i kombinovaného studia.

Text vycházel ze sdělitelného vědeckého systému v příslušné oblasti radiologické fyziky. Sdělitelný vědecký systém byl přeložen do anglického jazyka, tento překlad byl otištěn jako příspěvek ve sborníku mezinárodní konference.

Údaje o konferenci

OEDM-SERM'11, The 1st International e-Conference on Optimalization, Education and Data Mining in Science, Engineering and Risk Management,

Organized by Curriculum Studies Research Group, Bratislava, Slovak Republic and Department of Psychology and Applied Social Sciences, University of Ostrava, Czech Republic

Údaje o sborníku

PROCEEDINGS (2011), Praha: Curriculum, ISBN 978-80-904948

Příspěvek byl přijat a na jeho základě jsou připravovány k publikaci další dva články. Druhý článek pokračuje v aplikaci teorie kurikulárního procesu se zaměřením na conceptual, intended, projected a implemented curriculum-2. Ve článku třetím je dokončena teorie kurikulárního procesu ve smyslu implemented curriculum-2.

Do oblasti „conceptual curriculum“ (konceptuální kurikulum – sdělitelný vědecký systém z příslušné oblasti radiologické fyziky) patří již publikovaný příspěvek v rámci mezinárodní konference OEDM-SERM'11.

Edukační text a edukační test pro ověření dosažených znalostí, které byly vygenerovány z příspěvku z konference OEDM-SERM'11, již představují kurikulární obsahy přepracované vzhledem k možnostem adresátů, tj. studentů oboru radiologický asistent a oborů příbuzných. Oba kurikulární obsahy lze tedy považovat za součást „intended curriculum“ (zamýšlené kurikulum – struktura konceptuálního kurikula přizpůsobená možnostem adresátů), „projected curriculum“ (projektové kurikulum – vlastní edukační text jako projekce struktury zamýšleného kurikula do běžného jazyka) a „implemented curriculum-2“ (implementované kurikulum-2 jako předpokládané dosažené výsledky výuky a vyjádřené edukačním testem). Oba kurikulární obsahy (jako složky kurikulárního procesu) jsou připravovány k publikování v rámci mezinárodní konference OEDM-SERM'12. Stejně tak jsou připravovány k publikování v rámci této mezinárodní konference výsledky implemented curriculum-2 vyjádřené statistickým vyhodnocením edukačního testu předloženého respondentům.

Rozhodujícím prvkem bakalářské práce je položení edukačního testu respondentům (studentům studijního oboru „Radiologický asistentů“ a oborů příbuzných) a statistické vyhodnocení skutečně dosažených výsledků výuky. Tato část bakalářské práce je

konečnou součástí „implemented curriculum-2“ (implementované kurikulum-2 jako skutečně dosažené výsledky výuky. Rovněž tato část bakalářské práce, která představuje vygenerování výsledků získaných v rámci zamýšleného a projektového kurikula, je připravována k publikaci v rámci mezinárodní konference OEDM-SERM'12.

V bakalářské práci byl uskutečněn pokus aplikovat kurikulární proces a vytvořit edukační text, pokus z obtížného vědeckého textu stvořit sdělitelný text, který by byl užitečný a podnětný pro studenty. Bohužel bylo zjištěno, že uvažovaní respondenti nemají znalosti takové úrovně, aby jim mohl být předložen článek v podobě, ve které byl vydán v angličtině. Obsah tohoto článku u nás odpovídal spíše znalostem studentů fyziky či matematiky na přírodovědné vysoké škole, kteří disponují lepšími znalostmi, i když v zahraničí by zřejmě byl vhodný i pro studenty oboru „Radiologický asistent“. Příspěvek z konference OEDM-SERM'11 je vhodný pro konceptuální kurikulum, proto se musel vytvořit edukační text přizpůsobený možnostem adresátů. Příspěvek z konference OEDM-SERM'11 byl respondentům tedy jen pro zajímavost ukázán. Také při následné tvorbě testu vyvstal obdobný problém a bylo nutné vytvořit dvě verze testu, opět byla respondentům předložena verze jednodušší.

### **1.2.2 Systémy vzdělávání radiologických asistentů v zahraničí**

Při hledání studijních materiálů na internetu pro vlastní vzdělávání autorky práce a také pro tvorbu edukačního textu bylo nejdříve nutné poznat systémy vzdělávání, a to jak v České republice, tak v zahraničí, aby bylo jasné, kde přesně studijní materiály hledat. Také se zjišťovalo, zda je problém nedostatku literatury pouze u nás nebo zda tento nedostatek pociťují i zahraniční studenti. Pátralo se tedy u nás i v zahraničí, což vedlo k názoru, že úroveň studia v zahraničí převyšuje úroveň v České republice, alespoň dle autorčiných informací. Pátrání se zaměřilo především na Kanadu, USA a Velkou Británii, Austrálii a Německo. V těchto zemích je studijních materiálů dostatek a jsou dostupné studentům na internetových stránkách škol.

### 1.2.2.1 Kanadské školství

Při analýze kanadského školství bylo zjištěno, že v Kanadě je více jak 100 vysokých škol a převážnou většinu tvoří státní univerzity. Ročně se запиše přes 1 milion studentů. Systém školství je ale odlišný od českého. Školy nabízejí 3- a 4- letá bakalářská studia, dále pak 2- letá nadstavbová studia, 4- letá aplikovaná studia, 5- tiletá kombinovaná studia. Přitom se jedná o školy v rozmezí 60 – 80 000 studentů. Samozřejmě tyto kvality jsou vyváženy i „negativem“ v podobě školného, které je v rozmezí 4 – 19 000\$ na rok (dle informací dostupných ze zdroje č. 25). Kanadské školy poskytují vysoce kvalitní vzdělání a nabízejí více než 10 000 studijních programů. Kromě studia jako takového mají studenti ještě tzv. odborný výcvik. Akademický rok začíná na většině škol v září a obvykle končí v dubnu. Kromě systému semestrů v Kanadě funguje systém trimestrů, a to znamená, že mohou přijímat studenty v září, v lednu či v květnu. Univerzity vedou studenty k aktivnímu studiu. Existují zde tzv. kooperující programy, což je kombinace studia a práce související se studovaným oborem. Kromě klasických univerzit, na kterých studenti získají diplom, ještě existují „Community Colleges“, které také nabízejí pomaturitní vzdělání, ale neumožňují získat diplom. (1, 52)

### 1.2.2.2 Americké školství

Vzdělávací systémy v USA se mnohem více se zaměřují na praktickou výuku než-li na teorii. Během studia na vysoké škole musí student obvykle absolvovat „internship“ tedy stáže. „Základním pojmem v oblasti vyššího vzdělávání v USA je *college* . Obecně se jí rozumí čtyřletá instituce vyššího vzdělávání, která nabízí studijní programy v oborech podle svého zaměření. Školy, zaměřené na tzv. *liberal arts* (svobodná umění) nabízejí studijní programy např. v literatuře, jazycích, historii, filozofii i přírodních



vědách, zatímco obchodně orientované školy nabízejí výuku např. v oborech účetnictví, investice a marketing. Mnoho kolejí jsou nezávislé instituce, které udělují *bachelor's degree* (ekvivalent bakalářského titulu v ČR) po závěru dokončeného čtyřletého studia. Většinou ovšem nabízejí i studium magisterské či doktorandské. Koleje ale mohou být i součástí univerzity. 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. Většinou jsou otevřeny studentům všech vyznání. Dále existuje celá řada soukromých institucí necírkevního charakteru. Neexistuje žádný jednoznačný rozdíl mezi kvalitou studia na veřejných a soukromých vysokých školách. Neznamena 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:

- *associate degree* - odpovídá zhruba titulu diplomovaný specialista, udělovanému v ČR na vyšších odborných školách
- *bachelor's degree* - ekvivalent bakalářského titulu v ČR
- *master's degree* - ekvivalent magisterského titulu v ČR
- *doctorate (PhD)* - ekvivalent tzv. velkého doktorátu, dříve CSc.

Studia vedoucí k dosažení *associate degree* či k titulu bakaláře se nazývají *undergraduate studies*, zatímco studia magisterská či doktorandská jsou tzv. *graduate studies*.“(2)

„Jednou z forem amerického vyššího vzdělávání jsou i tzv. *community college*. Ty mívají jak nižší školné, tak nižší nároky na přijetí. Studium trvá jak jeden rok - prakticky zaměřené, podobné našim VOŠ, tak dva roky. Po dvouletém, akademičtějším

studiu je možné přejít na studium čtyřleté a získat bakalářský titul. Absolvent takového community college s bakalářským titulem se může přihlásit na univerzitu, a pokud ho přijmou, dodělat si magisterský program a získat tak titul MA nebo PhD. Programy pre-graduální jsou ty, při nichž student získá maximálně titul bakalář. Post-graduální studium pak vede právě k získání titulu jako MA, PhD, nebo doktorandskému titulu. Masters Programy vedou tedy k získání jak akademického titulu (MA- master of arts, MS -master of science) tak k titulu profesnímu (Master of Social Work atp.) Doktorské studium je už pro lidi, kteří se rozhodli pokračovat vědeckým a akademickým směrem. Navazují jak na magisterské programy tak, ve své prodloužené verzi, i na bakalářské studium. Studium pak podle toho trvá tři, pět nebo i více let. Právo, medicína, veterinární medicína, dentální medicína a ošetřovatelství spadá do kategorie *professional programs*. Tyto programy mají specifický průběh a pro vstup do nich je obvyklým předpokladem absolvování bakalářského studia, zpravidla v jakémkoliv oboru. Čeští studenti, kteří tyto obory začínají studovat hned po střední škole, nikoliv tedy jako Američané až po bakaláři, možnosti studia těchto oborů na úrovni *first professional degree* nevyužívají, protože tento první stupeň získávají na vysoké škole v České republice. Do USA tak obvykle odjíždí až na studium postgraduálních programů. U práva to bývá nejčastěji Master`s program (nejobvyklejší je Master of Law - LLM), u medicíny to bývají buď postgraduální klinické programy *residency* vedoucí k první atestaci, nebo teoretické a výzkumné doktorské programy.“ (2)

### 1.2.2.3 Školství ve Velké Británii

Dále byl analyzován systém vysokých škol ve Velké Británii. Student si v 18 letech volí ze tří možností: „technic“, „university“, „colleges of education“. „Po třech letech studia se získává titul bakalář (Bachelor of Arts, Medicine atd.) Později lze získat titul Master (of Arts...) a Doctor. Běžná délka bakalářského studia jsou 3 roky, medicína a studium jazyků může být o rok či dva delší. Polytechniky nabízejí také dvoustupňové vzdělání a to i s možností dálkového studia. Colleges of education jsou školy, na kterých je možnost získat vzdělání v oboru učitelství a někdy také ve tříletých specializovaných oborech. Jejich nabídka se odvíjí od možností školy. Colleges pak nabízejí 16letým studentům obory jako vaření, městské plánování, kadeřník, zdravotní sestra atd. A to jak dálkově tak prezenčně.“(3)

### 1.2.2.4 Německé školství

Zajímavý systém vysokých škol má Německo. „Protože je vzdělávání v Německu řízeno jednotlivými spolkovými vládami, podmínky škol a jejich osnovy se v jednotlivých státech liší. Centrální řízení federální vládou je omezeno pouze na regulaci a koordinaci profesní přípravy, vědeckého výzkumu. Stát podporuje i 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.“(4)

„**Vysoké školství** - v Německu je několik následujících typů vysokoškolského studia:

**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** - jsou 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, středních odborných školách a

podobně. Druhu studia je pak přizpůsobená i délka studia. Studium zahrnuje kolem 4 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 Klausura a ústní zkouška. U oborů technického a ekonomického zaměření i sociálních věd je obdobou titulu Magister(a) Artium Diplom.“(4)

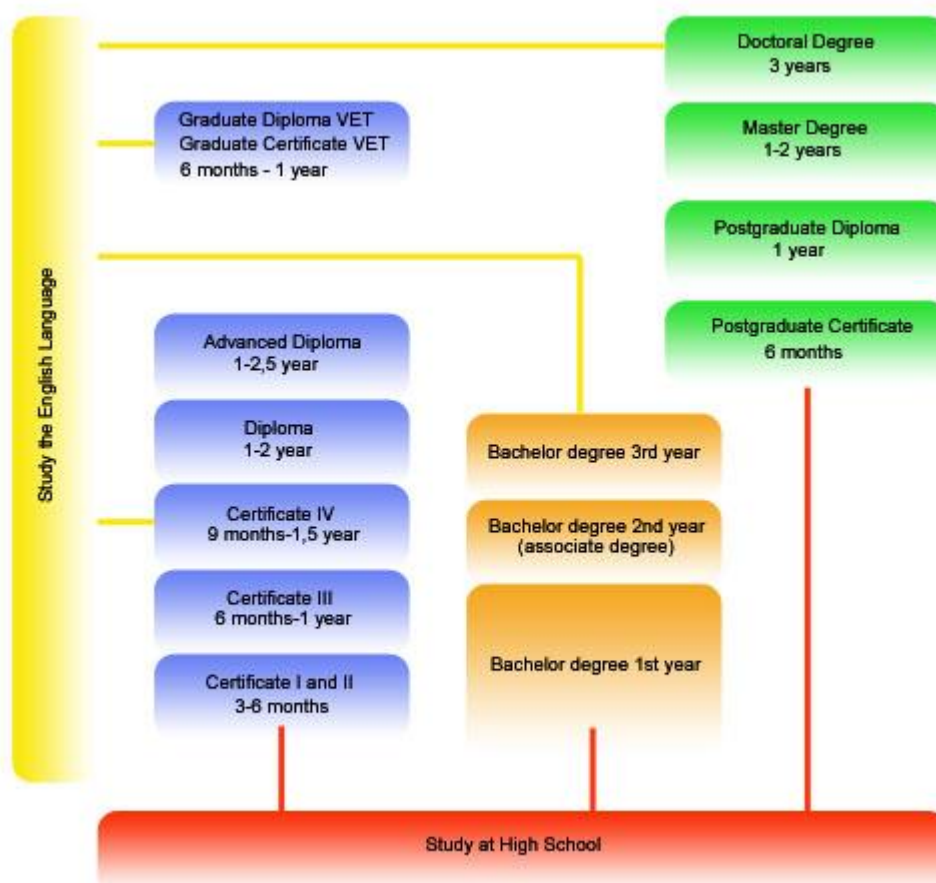
### 1.2.2.5 Australské školství

Jako další země byla vybrána Austrálie, protože „australský vzdělávací systém je považován za jeden z nejkvalitnějších na světě.“ (5)

“Australský vzdělávací systém se v mnohém odlišuje od toho, na který jsme zvyklí z České republiky:

- upřednostňuje samostatné studium,
- je velmi flexibilní
- prioritou je zde praktická aplikace získaných vědomostí.”(5)

Australský systém se skládá jak ze státních tak i soukromých škol. Systém dělí školy na vyšší odborné školy (Vocational Education and Training institutions - VET) a vysoké školy (Universities). (5)



(5)

### **1.2.3 České školství**

Také české školství bylo zanalyzováno. Bylo zjištěno, že po středních školách je vzdělání rozděleno na postsekundární neterciární vzdělání a terciární vzdělání, které se dále dělí na vyšší odborné školy a vysoké školy. Pro vysoké školy pak platí zákon č. 111/1998 Sb. ve znění pozdějších předpisů, samozřejmě pak existují ještě vnitřní předpisy škol, které dále upravují činnosti školy. Vysoké školy se člení na univerzitní a neuniverzitní. Rozdíl spočívá v rozsahu studijních oborů, univerzity poskytují bakalářské, magisterské i doktorské programy, naopak neuniverzitní typy škol poskytují převážně bakalářské programy. Přičemž většina soukromých škol jsou neuniverzitní a většina státních a veřejných škol jsou univerzitní. (6)

Česká republika je poměrně malá země, ale přesto má dostatek vysokých škol. V České republice je 45 soukromých vysokých škol (9), 26 veřejných škol (7) a 2 státní školy (8).

### **1.2.4 Srovnání oboru „Radiologický asistent“ u nás a v zahraničí**

Dále se zjišťovalo, jak se studuje obor radiologický asistent u nás a v zahraničí. Porovnávala se nejen kvalita studia ale také to, jak je tento obor ceněn a jakých titulů studenti dosahují. Závěr byl takový, že studenti v zahraničí mají více literatury ve svém rodném jazyce než čeští studenti, studium je na vyšší úrovni a radiologičtí asistenti nebo

těž radiologičtí technici jsou lépe oceněni. Toto povolání v zahraničí dosahuje skutečné prestiže a podle toho je samozřejmě též náležitě ohodnoceno.

V České republice je rozlišováno několik stupňů vzdělání na vysokých školách. Dle zákona se rozlišuje stupeň bakalářský, magisterský a doktorský. Obor radiologický asistent je začleněn do bakalářského kvalifikačního stupně, studium trvá tři roky a absolvent získá titul Bc. „Bakalářský studijní program je zaměřen na přípravu k výkonu povolání nebo ke studiu magisterského studijního programu. Standardní doba studia je 3 až 4 roky (180-240 ECTS kreditů). Absolventi v oblasti umění získají akademický titul „bakalář umění“ (BcA.) a „bakalář“ (Bc.) v ostatních oblastech. Studium se řádně ukončuje státní závěrečnou zkouškou, jejíž součástí je zpravidla obhajoba bakalářské práce.“(10) Bohužel navazující magisterský obor přímo pro radiologické asistenty není studentům k dispozici, jejich možnosti se tak omezují na několik příbuzných navazujících oborů, což je nemalá komplikace (např. ČVUT). V zahraničí je situace mnohem lepší, radiologičtí asistenti mají více možností, jak se vzdělávat a získávat nejen cenné znalosti, ale i akademické tituly.

V Kanadě je situace podobná té v České republice. Obor radiologický asistent se zde nazývá „Radiological Technologist“ a studijní program je tříletý. Po absolvování získají studenti titul BSc. v „Medical Radiation Sciences“ na The University of Toronto a mohou získat diplom na The Michener Institute z „Radiological Technology“. Pak už se ale situace začíná lišit, na rozdíl od České republiky, kdy studenti mohou dále studovat jen příbuzné obory, v Kanadě mohou studenti dále rozvíjet své znalosti dalším studiem v The Michener, kde mohou studovat do hloubky obory: „Magnetic Resonance Imaging (MRI)“, „Imaging Informatics“, „Ultrasound“, „Master of Applied Science (Medical Imaging)“. Dále si mohou studenti zvolit pokračování na jednom ze dvou nových programů MSc. na The University of Toronto.(11, 52)

Ve Spojeném království Velké Británie a Severního Irska radiologičtí technici, známí též jako “Diagnostic Radiographers” nebo “Therapy Radiographers”, musí být zaregistrováni v “the Health Professions Council (HPC)” před tím, než začnou vykonávat své povolání. Absolventi získávají titul BSc. (Hons), ale délka studia se liší, v Anglii a Walesu trvá studium tři roky, ve Skotsku roky čtyři. Dále mají studenti



možnost i postgraduálního studia a vybrat si specializaci v oborech “CT”, “MRI”, “Ultrasound” nebo “Nuclear Medicine” s možností získání titulu MSc. ve svém zvoleném oboru. Radiologičtí technici mají také více pravomocí, píšou zprávy a diagnózy, pokud jsou uznáni “the Health Professions Council” a “Society of Radiographers (SoR)”.(12)

V USA je studium oboru radiologický asistent rozčleněno na několik stupňů („Radiology Degrees“):

- Radiology Associates
- Radiology Certificate
- Radiology Bachelors Degree – obdoba českého bakalářského studia
- Radiology Masters Degree – obdoba českého magisterského studia.(13)

„Radiology Associates“ je prvním stupněm vzdělání, jde vlastně o základy z oboru „Radiologic Technologist“, „Ultrasound Technician“, „Nuclear Medicine Technologist“. Toto studium obvykle trvá dva roky.(14) Dalším stupněm pak je „Radiology Certificate Program“, zde se ve Spojených státech Amerických rozlišují dva typy studijního programu dle rozsahu studia, první je typ všeobecný („radiology“) a druhý typ je specializovaný např. na mamografii, CT, MRI, „Radiation Therapy“ a další. Tyto programy bývají velice intenzivní a krátké, trvají od 6 do 18 měsíců a za jistou nevýhodu lze brát fakt, že programy bývají placené.(15)

Následujícím stupněm studia je „Radiology Bachelors Degree“.(16) V podstatě je tento stupeň shodný s bakalářským stupněm v České republice. Pak ale studenti mohou studovat dále na „Radiology Masters Degree“, což by odpovídalo magisterskému stupni v České republice. Absolventi tohoto stupně studia pak mají mnohem větší pravomoce než asistenti pouze s titulem Bc., mohou provádět invazivní procedury a pracovat v těsném kontaktu s „Radiologist M.D.“ a dále se specializovat na určitou oblast radiologie. Navíc získávají nejen znalosti z oblasti radiologie, ale například i z managementu. Masters Degree je nejvyšší příčka pro radiologické asistenty a tito lidé si obvykle volí mezi pozicí manažera a radiologického asistenta.(17)

V hledání byla velice nápomocná internetová stránka [www.radiology-schools.com](http://www.radiology-schools.com), kde jsou seznamy všech škol pro radiologické asistenty i s adresami a kontakty na jednotlivé školy, také lze vyhledat studijní texty, namátkou bylo nahlédnuto jen do několika z nich. Například autorka práce navštívila britskou školu The University of Manchester, americké školy ve Wisconsinu (např. Aurora St. Luke's Medical Center School of Radiologic Technology, Western Technical College Associate in Applied Science-Radiography, University of Wisconsin-LaCrosse Bachelor of Science - Radiation Therapy a mnoho dalších) a v neposlední řadě kanadské školy University of British Columbia a University of Manitoba.

V Německu má povolání radiologického technika či technologa skutečnou prestiž. Radiologičtí technici se zde nazývají „Medizinisch-technischer Radiologieassistent“ a jsou školeni na odborných školách nebo ve školicích centrech. Studium obvykle trvá 3 roky. „Medizinisch-technischer Radiologieassistent“ se učí používat konvenční a digitální radiologii (např. CT, MRI), dále mohou pomáhat při vyšetřování, jako skiaskopie a digitální subtrakční angiografie. „Technologové“ jsou rovněž zapojeni do plánování radiační léčby, také pomáhají v nukleární medicíně, pracují s radionuklidy a provádějí zkoušky, provádějí scintigrafie, výkony na SPECT a PET. (18)

Základními podmínkami pro toto tříleté studium jsou střední vzdělání a minimální věk 16 let. Škola obvykle začíná již od 1. září a přednášky se zaměřují především na nukleární medicínu, radiologii, zobrazovací metody a radioterapii.(19)

Po této odborné přípravě na akademii pro lékařské a technické obory (např. Universitätsklinikum Ulm) studenti nastupují na praxi, která trvá 4 roky, a následně na vysokou školu technickou k dalšímu studiu (např. Steinbeis-Hochschule Berlin, Duale Hochschule Baden-Württemberg Heidenheim (DHBW)). Studenti mohou získat titul „Bachelor of Science für Medizinisch-technische Assistenten“.(20, 21, 22)

„Studenti australských univerzit o svém zaměření rozhodují už při zápisu do studijního programu. Jako v jiných zemích se toto zaměření týká třech základních oborů radiologie, a to nukleární medicíny, radioterapie a diagnostického zobrazování. Navíc je možnost zapsat se do kurzu studia diagnostického ultrazvuku. Všechny tyto zaměření spadají pod kategorii Medical Radiation Sciences, tedy vědy medicínského ozařování.

Kurzy spadající pod tyto vědy jsou akreditovány Australským institutem radiografie (Australian Institute of Radiography – AIR). Po ukončení některých akademických kurzů musí absolvent podstoupit jeden rok placené strukturované klinické praxe (National Professional Development Programme – NPDP) a po jejím ukončení bude způsobilý pro udělení akreditace. Ta musí být provedena v Austrálii ve schváleném radiologickém zařízení.

Studium lékařského zobrazování, radioterapie a nukleární medicíny může spočívat v:

- dokončení tříletého bakalářského programu následovaného dokončením NPDP
- dokončení čtyřletého bakalářského programu
- dokončení dvouletého magisterského programu následovaného dokončením NPDP
- dokončení dvouletého magisterského programu

Roční praxe a zápis v oficiálním registru National Professional Development Programme (NPDP) zahrnuje i oficiální registraci radiologického technika a přístup k informacím AIR.

Studium je možné např. na následujících australských univerzitách:

The University of Newcastle

Charles Sturt University

RMIT University

University of South Australia

University of Tasmania

Studium ultrazvuku jako zobrazovací metody je v Austrálii možné formou postgraduální kvalifikace. Pro zápis do tohoto programu musí student dosáhnout kvalifikace v oboru radiologického zobrazování, radioterapie, biomedicínských věd nebo ošetrovatelství. Mnoho univerzit nabízí studium ultrazvuku jako součást studia diagnostické radiografie. Absolvent kurzu zobrazování pomocí ultrazvuku získá od Australian Society for Ultrasound in Medicine diplom, tedy Diploma of Medical Ultrasound.

Odborníci, kteří po absolvování studijních programů pracují v oboru, jsou nazýváni Diagnostic Radiographers nebo Medical Imaging Technologists, Radiation Therapists a Ultrasonographer nebo Sonographer.“(23)

### **1.2.5 Studijní podklady – Fyzikální základy kruhových urychlovačů**

Po té, co se autorka zorientovala a pochopila systémy vzdělávání v zahraničí, již cíleně mohla hledat studijní materiály k tématu cyklotronů. Studijních materiálů bylo nalezeno nepřeberné množství na webových stránkách vysokých škol. Tato skutečnost potvrdila, že v zahraničí mají studenti více možností, než má student v České republice. Po analýze české literatury bylo zjištěno, že českým studentům v podstatě není dostupný téměř žádný jednoduchý úplný edukační text v českém jazyce na téma kruhových urychlovačů. Dále je nutné vysvětlit, co se myslí slovy „jednoduchý edukační text.“ Slovem „jednoduchý“ se myslí přiměřený znalostem studentů. Všechny texty, které autorka viděla, i když se tvářily jako edukační, byly psány odborníky pro další odborníky, nebo byly neúplné. Proto se dala do „mravenčí práce“ a všechny tyto texty, některé komplikovanější, jiné méně, si prošla a z každého si odnesla, dle autorčina úsudku, ty nejdůležitější informace. Takto nabyté znalosti pak „poslepovala“ do textu, který použila jako edukační pro své kolegy. Během procesu se autorčin text dále měnil, transformoval, stále byl vylepšován a upravován podle potřeb studentů. Neučila jenom své kolegy, ale i sebe samotnou. Snahou bylo stvořit jednotný text, ve kterém budou mít studenti předloženy všechny důležité informace uceleně, ve kterém naleznou všechny potřebné znalosti, aniž by si museli dále příliš vyhledávat informace v jiných materiálech. Snahou bylo poskytnout studentům v textu maximum informací, aniž by byl text jakkoliv kategorizován. Cílem bylo vytvořit text pro co nejširší okruh studentů. Nepředpokládaly se žádné vysoké znalosti z oblasti přírodních věd, především z fyziky a matematiky. Všechny použité matematické i fyzikální operace a postupy byly

vždy nejdříve teoreticky vysvětleny krok po kroku a vždy bylo snahou napsat k těmto operacím krátký a výstižný teoretický text.

### 1.2.6 Teorie kurikulárního procesu

K tvorbě textu významně přispěla teorie kurikula, což je podstatné východisko práce. Jedná se o stěžejní bod projektu, protože jedním z cílů bylo vybrat teorii přenosu vědeckých poznatků na úroveň uvedených studijních oborů a hypotézou také bylo, že edukační text pro radiologické asistenty lze vytvořit správnou aplikací teorie kurikulárního procesu.

Kurikulum je vlastně obsah edukace. Kurikulární proces je pak „uspořádaná posloupnost transformačně na sebe navazujících variantních forem kurikula“.(24) V teorii kurikula rozeznáváme jistou posloupnost: „conceptual“, „intended“, „projected“, „implemented-1“ a „implemented-2“, „attained“ kurikulum. Do konceptuálního kurikula může být zařazen autorčin příspěvek z mezinárodní konference OEDM-SERM'11 na téma kruhových urychlovačů, který se jmenoval „How to Explain Physics Base of Cyclotron for Radiology Students“. „Intended“ a „projected“ kurikulum pak bylo spojeno do připravovaného druhého článku. Do „intended“ kurikula patří edukační text z článku prvního přepracovaný vzhledem k možnostem adresátů. „Projected“ kurikulum vyjadřuje, jak by měla vypadat výuka, takže do „projected“ kurikula může být zařazena experimentální přednáška vybraným respondentům. Implementární kurikulum-1 představuje autorčinu přípravu na experimentální výuku a implementární kurikulum-2 obsahuje dosažené výsledky výuky. Jde o vyhodnocení práce a ověřování hypotéz. „Attained“ kurikulum pak již vyjadřuje využití práce a technický popis cyklotronu.(24)

Je zřejmé, že poznatek, ať už z oblasti fyziky, nebo jakékoliv oblasti jiné, projde určitou transformací při didaktické komunikaci. Touto didaktickou komunikací je

myšlen dlouhý děj, kdy dochází k předávání a zprostředkovávání výsledků poznání studentům. Poznatok prochází různými oblastmi myšlení, zkoumání a také vyjadřování, to tedy znamená jistou transformaci poznatku. Transformace fyziky  $T^1$  až  $T^5$  pojmenoval P. Tarábek (Tarábek, Záškodný, 2007 – 2008). Nejdříve se jedná o tzv. komunikační transformaci  $T^1$ , kdy z vědeckého systému vzniká sdělitelný vědecký systém, další v pořadí je transformace  $T^2$ , tedy obsahová transformace. Ze sdělitelného vědeckého systému vzniká edukační systém, v daném případě fyziky, a také samozřejmě učivo. Tento edukační systém se pak dále transformuje na výukový projekt fyziky a učebnici. Tento proces se nazývá kurikulární transformace a označíme ji  $T^3$ . Svou významnou roli hraje jistě i míra připravenosti učitele, která společně s výstupem kurikulární transformace  $T^3$  tvoří vstup do  $T^4$ , do edukační transformace. Výstupem edukační transformace jsou pak vlastní výsledky výuky fyziky. Posledním procesem je aplikační transformace  $T^5$ , zde jde o aplikaci výsledků výuky fyziky. To znamená, aby z výsledků výuky fyziky, které byly získány jako výstup edukační transformace, vznikly aplikovatelné výsledky výuky fyziky.

Cesta poznatku, jeho transformace, není lehký proces. Vystávají otázky typu: Jak tvořit vědecký systém fyziky, aby byl sdělitelný? Jak tvořit učivo?(24) Jak předávat své vědomosti studentům, aby se staly jejich znalostmi? Jak předávat své znalosti, aby byly použitelné? V práci byla snaha právě o to - vytvořit sdělitelný vědecký text, a zamýšlet se nad těmito otázkami. Bylo snahou se na dané téma klasických kruhových urychlovačů dívat z pohledu studenta a později, když autorka tématu dostatečně porozuměla, také z pohledu učitele. Snažila se základy fyziky klasických urychlovačů vysvětlit a předat respondentům, ale vyvstal problém: Jak předat informace studentům, aby je pochopili a uchovali si je v paměti? Bylo nezbytné uvažovat, jakou formou učít, jak znalosti předat co nejjednodušší cestou tak, aby danou problematiku studenti skutečně pochopili. (24)

Řešení zmíněných otázek a popsání současného stavu v oblasti teorie kurikulárního procesu vedly k formulaci základního záměru bakalářské práce - vytvořit přiměřený edukační text pro radiologické asistenty, pochopitelný pro studenty. Byly stanoveny dvě cesty, jak zkoumaný problém řešit:

- za prvé aplikovat kurikulární proces a vytvořit tak text pro radiologické asistenty, vytvořit pro studenty podklady pro studium, kterým budou rozumět,

- za druhé bylo předpokládáno, že pokud bude projekt úspěšný a vhodně se aplikuje kurikulární proces, zda se podaří správně pochopit studenty a předat jim poznatky, aby jim byly ku prospěchu, pak bude výsledkem statistického vyhodnocení Gaussova křivka. Gaussova křivka by měla poukázat na normální rozdělení znalostí studentů.

Autorka se domnívá, že by práce mohla sloužit studentům jako základ pro studium fyzikálních principů klasických urychlovačů, mohla by být opěrným bodem při hledání edukačních materiálů a dokonce by snad i bakalářská práce sama o sobě mohla být dostačující pro pochopení dané problematiky pro radiologické asistenty. Provedená analýza současného stavu zkoumaného problému podporuje nastíněné cesty řešení problému.

### **1.2.7 Aplikace statistických metod**

V práci bylo využito hned několik metod statistiky. „Statistika je věda a postup jak rozvíjet lidské znalosti použitím empirických dat. Je založena na matematické statistice, která je větví aplikované matematiky. V teorii statistiky jsou náhodnost a neurčitost modelovány pomocí teorie pravděpodobnosti.“ (25) „Matematická statistika vyjadřuje výsledky deskriptivní statistiky různými konstrukty a dále je matematicky zpracovává.“(23)

„Z teorie pravděpodobnosti je možné odvodit několik konstruktů. Prvním odvozeným konstruktem je teoretické rozdělení. Pro používání různých možností diskrétní matematiky nebo diferenciálního a integrálního počtu je nutné nahrazení empirického rozdělení četností teoretickým rozdělením náhodné veličiny (termín „náhodná veličina“ je užíván jako analogie statistického znaku). Právě toto nahrazování je základní metodou matematické statistiky, která se nazývá „neparametrické testování“.

Pokud nelze objevit teoretické rozdělení, nedoporučuje se dále pokračovat v šetření zkoumaného statistického znaku. Jako vhodná varianta teoretického rozdělení se často ukazuje normální rozdělení, a to především v případě populačních charakteristik, jako základního statistického souboru.

Dalším konstruktem také odvozeným z teorie pravděpodobnosti je „parametrické testování“. Toto testování se zakládá na srovnávání teoretických parametrů probíhajícího statistického šetření s jinými dosaženými výsledky, tedy teoretickými nebo empirickými parametry, které byly získány ze statistických šetření jiných.“ (23)

Jednotlivé metody statistiky, které byly v práci použity, jsou detailně rozebrány v části “metodika”.



## 2. Hypotézy a cíle

Bakalářská práce je postavena na ověřování dvou hlavních hypotéz: První hypotéza předpokládá, že vytvoření edukačního textu, který bude přiměřený adresátům edukace, je možné aplikací kurikulárního procesu. Druhá hypotéza předpokládá, že znalosti studentů získané experimentální výukou na základě 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 klasických kruhových urychlovačů 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 klasických kruhových urychlovačů

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

4. Ověřování doplňujících 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.

### 3. Metodika

Statistika byla zpracována dle postupu ve zdrojích (26, 31).

Metodika bakalářské práce může být popsána pěti kroky:

- I. Analýza současného vědeckého systému.
- II. Transformace zkoumaného vědeckého systému na sdělitelný vědecký systém.
- III. Vytvoření vlastního edukačního textu na základě analýzy vědeckého systému.
- IV. Ověření edukační funkce vytvořeného edukačního textu experimentální výukou studentů studijního oboru „Radiologický asistent“ a případně dalších studijních oborů.
- V. Vytvoření testu pro ověření získaných znalostí studentů a následné statistické zpracování těchto testů.

Ad I., II., III.)

Během analýzy studijních materiálů nebyl nalezen uspokojivý edukační text v českém jazyce pro studenty oboru „Radiologický asistent“ nebo oborů obdobných. Na základě výběru informací z analyzovaných podkladů bude proto vytvořen text vlastní. Během procesu edukace se text bude dále upravovat z hlediska přiměřenosti adresátů a z hlediska transformace konceptuálního kurikula na kurikulum zamýšlené a kurikulum projektové. Východiskem v tomto směru bude článek o konceptuálním kurikulu v oblasti fyzikálních základů klasických kruhových urychlovačů, který byl publikován ve sborníku mezinárodní konference.

Ad IV.)

Na základě vytvořeného edukačního textu proběhne experimentální výuka jako proces, který umožní transformaci projektového kurikula (edukačního textu) a implementovaného kurikula-1 (příprava autorky bakalářské práce na výuku) na implementované kurikulum-2 (znalosti adresátů edukace po absolvování experimentální

výuky). Edukační text by měl být obohacen o ilustrace a obrázky a jeho jazyk by měl odpovídat možnostem vybraných respondentů – adresátů edukace. Rovněž složitější fyzikální a matematické operace, které jsou typické pro vědecký systém (pro konceptuální kurikulum) by měly být nahrazeny aplikacemi fyziky a matematiky přiměřenými možnostem adresátů. Příprava autorky bakalářské práce na experimentální výuku (tj. uskutečnění požadavků kladených na kurikulární proces implementovaným kurikulem-1) by měla obsáhnout vedle vytištění edukačního textu také jeho elektronickou PowerPointovou prezentaci a rovněž přípravu na možnou diskusi s adresáty edukace.

Adresáty experimentální výuky by měli být studenti 1. a 2. ročníku studijního oboru „Radiologický asistent“ na Jihočeské univerzitě. Osloveni by měli být studenti prezenční i kombinované formy studia. Experimentální výuka by měla proběhnout v předem dohodnutých termínech jak u studentů prezenční formy studia, tak u studentů kombinované formy studia. Studenti by měli být o experimentální výuce informováni a po absolvování experimentální výuky by jim měl být sdělen termín položení edukačního testu. Dohodnutými termíny se staly termíny 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. U studentů 2. ročníku experimentální výuka nemusela být organizována – byl akceptován předpoklad, že výuka uskutečněná přednášejícími v 1. a 2. ročníku v oblasti radiologické fyziky a urychlovačů by měla být dostatečným základem. Těmto studentům bude možno přímo položit edukační testy.

Ad Va) – Metodika tvorby edukačního testu

Po zjištění znalostí adresátů dosažených experimentální výukou bude sestaven edukační test, který bude odrážet strukturu zamýšleného kurikula (tj. strukturu vědeckého systému přizpůsobenou možnostem vybraných respondentů – adresátů edukace) a strukturu projektového kurikula (tj. strukturu vytvořeného edukačního textu). Edukační text by měl obsahovat 20 alternativních otázek – ze tří alternativ u každé otázky by měla být vždy jen jedna správná. Edukační test by měl být položen všem respondentům ve vytištěné podobě, s přesným vymezením časových možností a s přesným komentářem ke struktuře alternativ u jednotlivých otázek. Položení

edukačního testu a jeho statistické vyhodnocení by mělo umožnit zjistit úroveň znalostí (viz vazba na implementované kurikulum-2) dosaženou experimentální výukou u adresátů edukace.

Ad Vb) – metodika vyhodnocování položených edukačních testů

Ověření přiměřenosti edukačního textu a správné konstrukce edukačního testu by mělo být uskutečněné aplikací vhodných statistických metod. Statistické metody použité ve výzkumu byly následující:

1. Formulace statistického šetření.
2. Škálování.
3. Měření – konstrukce testu.
4. Elementární statistické zpracování – tabulka, grafy, empirické parametry.
5. Neparametrické testování – test normality.
6. Teorie odhadů
7. Parametrické testování – rozlišení prezenčního a kombinovaného studia.

add.1. „V rámci formulace statistického šetření musí být vždy přesně charakterizovány všechny navazující pojmy. Jedná se o zkoumaný hromadný náhodný jev, definici statistické jednotky, určení zkoumaného statistického znaku, charakteristika hodnot statistického znaku, přesné vymezení základního statistického souboru a následné zajištění procedury náhodného výběru.

Základem statistického šetření a realizace statistického projektu je rozhodnutí, zda je k dispozici jev, který má hodně výsledků a zároveň je spojen s různými pravděpodobnostmi naměřených statistických dat. Tento jev je nazýván hromadný náhodný jev. Zjednodušeně se dá říci, že hromadný náhodný jev je realizace činností nebo procesů, jejichž výsledek nelze s jistotou předpovědět a které se odehrávají v rozsáhlé množině prvků. Tyto prvky mají určitou skupinu stejných vlastností a skupinu vlastností odlišných. Matematická statistika a teorie pravděpodobnosti se zabývají kvalitativní a kvantitativní analýzou zákonitostí hromadných náhodných jevů. Nositelem hromadného náhodného jevu je statistická jednotka, která je vymezena stejnými vlastnostmi prvků zkoumané množiny. Zjednodušeně se dá říci, že statistické jednotky jsou prvky statistického souboru, které mají alespoň jednu společnou vlastnost.

Vlastností statistické jednotky je statistický znak, který je dán některou z odlišných vlastností prvků zkoumané množiny.

Množina všech statistických jednotek tvoří základní statistický soubor, a protože obvykle není v praktických možnostech statistiků zkoumat statistický znak u všech statistických jednotek je nutno přistoupit k omezení jejich počtu. Počet statistických jednotek je většinou redukován procesem náhodného výběru na výběrový statistický soubor. Často z důvodů časových, ekonomických, prostorových nebo jiných nároků na sledování celého základního souboru snižujeme přesně vymezeným postupem jeho rozsah. Takto dostáváme svým rozsahem soubor menší výběrový soubor, který značíme  $n$ . Nejužívanějším postupem je náhodný výběr, což je výběr případů ze základního souboru, kdy má každý z nich stejnou možnost být vybrán. Znamená to, že pravděpodobnost, že bude případ vybrán, je pro všechny stejná. Metoda náhodného výběru je omezení počtu zkoumaných statistických jednotek tak, aby bylo možné aplikovat získané výsledky na celý základní statistický soubor.

Existují různé způsoby náhodného výběru, jde například o losování, generování tabulkou náhodných čísel nebo stratifikovaný výběr. Výběrový statistický soubor je tedy dán těmi statistickými jednotkami, které byly vybrány ze základního statistického souboru procesem náhodného výběru, a rozsah výběrového statistického souboru je roven počtu vybraných statistických jednotek. Důsledně je třeba dodržovat náhodnost výběru statistických jednotek. Výběrová chyba, která je definována jako odlišnost mezi populačními charakteristikami a výběrovými charakteristikami bude minimalizována dostatečným rozsahem výběrového statistického souboru a důsledným upozorňováním na nezbytnost náhodnosti výběru statistických jednotek.“(25)

add. 2. „Škálování spočívá v přenesení reálného jevu na číselnou stupnici a roztřídění hodnot statistického znaku do skupin. Jsou známy různé typy škál, např. tyto čtyři: ordinální, nominální, absolutní metrická a kvantitativní metrická.

Právě kvantitativní metrická škála bude použita v této práci. Prvky této škály jsou vyjádřené číselnými velikostmi, což umožňuje stanovit vzdálenost mezi dvěma sousedními statistickými jednotkami.“(23)

add. 3. „Při měření je každé statistické jednotce výběrového statistického souboru VSS přiřazen jeden z prvků škály  $x_1, x_2, \dots, x_k$ . Výsledkem měření je zjištění, že prvek škály  $x_i$  byl naměřen  $n_i$  krát. Hodnotám  $n_i$  se říká absolutní četnosti a jejich součet je roven rozsahu statistického souboru VSS.

Mezi výsledky měření  $x_i$  patří také hodnocení pravděpodobnosti jejich výskytu. Ze statistické pravděpodobnosti  $p(x_i)$  výsledku  $x_i$  vychází tzv. relativní četností  $n_i/n$ . Při sečtení všech relativních četností musí být výsledek roven 1.

Dalším výsledkem měření jsou také kumulativní četnosti. Kumulativní četnost  $\sum n_i/n$  značí pravděpodobnost, že výsledek měření bude menší nebo rovný výsledku  $x_i$ .“(23)

Studentům bude v rámci měření dosažených znalostí položen test s následným statistickým vyhodnocením. Test bude složen z 20 otázek, maximální počet bodů bude roven 20.

add. 4. „V tomto kroku je zpracována tabulka, vytvořeny grafy empirických rozdělení četností a jsou vypočítány empirické parametry empirických rozdělení. Mezi tyto parametry patří především aritmetický průměr a směrodatná odchylka.“(25)

„Tabulka

Všechny výsledky měření je nutné uspořádat a nejvhodnější metoda je znázornění dat pomocí tabulek. Tabulkové uspořádání je vhodné, jestliže chceme vybrané údaje uvést v přesném tvaru a poskytnout tyto údaje k dalším výpočtům.

Tabulka obsahuje osm sloupců. Pro zpřehlednění výsledků měření a pro znázornění empirických rozdělení slouží první čtyři sloupce, které obsahují prvky škály  $x_i$ , absolutní četnosti prvku škály  $n_i$ , relativní četnosti prvku škály  $n_i/n$  kumulativní četnosti  $\sum n_i/n$ . Další čtyři sloupce obsahují součiny  $x_i n_i$ , součiny  $x_i^2 n_i$ , součiny  $x_i^3 n_i$  a součiny  $x_i^4 n_i$  a mají pomocný význam a slouží k snadnému a rychlému výpočtu empirických parametrů. Dále jsou v tabulce uvedeny součty údajů v jednotlivých sloupcích. V prvních čtyřech sloupcích mají tyto součty kontrolní význam a v dalších čtyřech sloupcích jsou potřebné pro výpočet empirických parametrů.“(25)

### „Empirická rozdělení četností

V tabulce rozdělení četností se varianty (prvky škály) uspořádají podle velikosti. Díky tomuto seřazení je možné u numerické proměnné postupné přičítání absolutních i relativních četností, čímž vznikají kumulativní četnosti absolutní i relativní. Empirická rozdělení četností se rozděluje na dva základní druhy. První druh k prvkům škály  $x_i$  přiřazuje odpovídající absolutní četnosti  $n_i$  nebo relativní četnosti  $n_i/n$  a druhý přiřazuje prvkům škály  $x_i$  odpovídající kumulativní četnosti  $\Sigma n_i/n$ . Statistická tabulka rozdělení četností a kumulativních četností není jediným způsobem elementárních zpracování hodnot proměnné. Znázorníme-li četnosti proměnné v pravoúhlé soustavě souřadnic, kdy varianty (prvky škály) proměnné jsou úsečkami a jejich absolutní a relativní četnosti pořadnicemi, a spojíme-li koncové body pořadnic, získáme polygon (mnohoúhelník) četností. V praxi jsou vždy na vodorovnou osu nanášeny prvky škály  $x_i$ , na svislou osu odpovídající četnosti. Grafické vyjádření těchto závislostí je dáno množinou bodů, jejichž první souřadnicí je vždy prvek škály  $x_i$ , druhou souřadnicí je odpovídající četnost. Spojíme-li všechny body této množiny úsečkami, obdržíme lomenou čáru - polygon. V praxi se rozeznává „polygon absolutních četností“, „polygon relativních četností“ a „polygon kumulativních četností“. Vedle grafického vyjádření empirických rozdělení polygonem je používána rada pomocných grafických znázornění, kam lze zařadit již zmíněné sloupcové diagramy, sloupkové grafy a výsečové grafy. Grafické vyjádření umožňuje okamžité zkoumání, ke kterému teoretickému rozdělení se přibližuje empirické rozdělení, získané jako výsledek deskriptivní statistiky. Další význam je v možnosti okamžitého orientačního vyhodnocení parametru polohy, variability, šikmosti a špičatosti empirického rozdělení a tím i zkoumaného statistického souboru.“(25)

### „Empirické parametry

Povahu zkoumaného statistického souboru vystihují empirické parametry. Ve většině případů jsou empirické parametry vztahovány k výběrovému statistickému souboru, proto jsou často nazývány výběrové parametry. Výběrové parametry řadíme mezi výběrové charakteristiky výběrového statistického šetření, které může být v praxi



zatíženo výběrovou chybou. K tomu, aby byla minimalizována, je nutno zajistit reprezentativnost výběrového statistického souboru, kdy se provede metoda náhodného výběru statistických jednotek výběrového statistického souboru. Pokud rozsah výběrového statistického souboru přesahuje 30 statistických jednotek, lze výběrové charakteristiky do jisté míry srovnávat s populačními charakteristikami.

Mezi empirické parametry, které vystihují určitý rys zkoumaného statistického souboru, se řadí parametr polohy, parametr variability, parametr šikmosti a parametr špičatosti. Empirické parametry, které se rozdělují podle způsobu jejich výpočtu, lze rozčlenit na momentové parametry a kvantilové parametry. Momentové parametry se obecně dělí na obecné momenty, centrální momenty a normované momenty. Obecný momentu 1. řádu charakterizuje aritmetický průměr, centrální moment 2. řádu určuje empirický rozptyl a pomocí normovaných momentů 3. a 4. řádu se charakterizují parametry šikmosti a špičatosti.“(25)

add. 5. „Spočívá v přiřazení teoretického rozdělení rozdělení empirickému. Také se uvádí pod pojmem „testování neparametrických hypotéz“.

Testování neparametrických hypotéz spočívá především v tom, že je výhodné nahradit empirické rozdělení rozdělením teoretickým. Díky teoretickému rozdělení je možné získat informace jinak nedostupné a to pomocí jednoduchého matematického aparátu.“(23)

„Intervalové rozdělení četností:

Někdy je vhodné roztrždit rozpětí prvku metrické škály nebo hodnot statistického znaku u zkoumaného statistického souboru na daný počet intervalů. V každém intervalu jsou pak uvedeny odpovídající hodnoty. Doporučuje se sestavení 5 až 20 intervalů o stejné délce.“(23)

„Teoretické rozdělení četností

Jedním ze základních pojmů teorie pravděpodobnosti je „teoretické rozdělení“. Hromadný náhodný jev HNJ, je zkoumán prostřednictvím pojmu „náhodná veličina“ a „náhodný pokus“. Náhodný pokus je uskutečnění procesu nebo činnosti, u kterých nelze

s jistotou předpovědět jejich výsledek. Hodnota náhodné veličiny je určena výsledkem náhodného pokusu. „Hodnota náhodné veličiny“ je určitou analogií pojmu „hodnota statistického znaku HSZ“, jehož původ lze nalézt v teorii pravděpodobnosti. Náhodné veličiny je možné dělit na spojité (hodnoty na sebe spojitě „navazují“ – nelze nalézt nejbližší sousední hodnotu, hodnoty spojité náhodné veličiny budou značeny  $x$ ) a diskrétní (hodnoty diskrétní náhodné veličiny budou značeny  $x_i$  a „nenavazují“ na sebe). Hodnotám náhodné veličiny jsou přiřazeny pravděpodobnosti, s níž dané hodnoty nastanou při náhodném pokusu. Tyto pravděpodobnosti mohou být definovány klasicky, kdy je počet výsledků náhodných pokusů dané hodnoty dělený počtem všech výsledků náhodných pokusů, nebo např. kolmogorovsky nebo geometricky. Pojem „teoretické rozdělení“ odpovídá statistickému pojmu „empirické rozdělení četností“. Teoretická rozdělení je možné dělit na spojitá a diskrétní. Teoretických rozdělení je užíváno velké množství variant.

Významnou popisnou formou teoretického rozdělení je distribuční funkce  $F$ . Ta v případě diskrétní náhodné veličiny znázorňuje pravděpodobnost, že náhodná veličina bude mít menší nebo rovnou hodnotu než zvolená hodnota  $x_i$ . Součtem dílčích pravděpodobností bude dána kumulativní pravděpodobnost. Pro spojitou náhodnou veličinu distribuční funkce  $F$  bude tato kumulativní pravděpodobnost vyjádřena integrálem, který má dolní mez např. u normálního rozdělení rovnou  $-\infty$  a horní mez odpovídá hodnotě  $x$ . Pojem „distribuční funkce“ odpovídá statistickému pojmu „kumulativní četnost“.(23)

V bakalářské práci byl použit  $\chi^2$ -test dobré shody.  $\chi^2$ -test dobré shody patří mezi neparametrické testy, kterými lze ověřit pravděpodobnostní funkce  $P_i$  nebo předpoklad o typu hustoty pravděpodobnosti  $\rho(x)$ .

Základem  $\chi^2$ -testu dobré shody je srovnávání teoretického obsazení prvků škály s reálnými empirickými výsledky, to je uskutečnitelné po roztřídění výsledku zkoumání výběrového statistického souboru VSS do prvků škály, které se nepřekrývají. V případě dosažení shody, je možné přijmout nulovou hypotézu  $H_0$ . Pokud shoda není dosažena,

je nezbytné zvolit jinou pravděpodobnostní funkci  $P_i$  nebo jiný předpoklad o typu hustoty pravděpodobnosti  $\rho(x)$  a přijmout alternativní hypotézu  $H_a$ .

Kritériem testu je obecný tvar experimentální hodnoty  $\chi_{exp}^2$

$$\chi_{exp}^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - N_j)^2}{N_j}$$

kde  $n_j$  jsou obvyklé empirické absolutní četnosti,  $k$  je spojeno se zredukovaným počtem prvků škály a  $N_j$  je vystižení teoretických absolutních četností vázaných na testované spojité nebo diskrétní teoretické rozdělení.

Počet prvků škály je nutno redukovat v případě, že nejsou empirické absolutní četnosti  $n_j > 5$  alespoň v 80% prvcích škály.  $\chi^2$ -test lze aplikovat pro jakoukoliv hustotu pravděpodobnosti  $\rho(x)$  nebo pravděpodobnostní funkcí  $P_i$  jakéhokoliv spojitého nebo diskrétního teoretického rozdělení.

Dále jsou uvedeny speciální tvary experimentální hodnoty  $\chi_{exp}^2$  např. pro testování normálního rozdělení či Poissonova rozdělení.

Tvar pro testování normálního rozdělení:

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

kde  $n$  je rozsah výběrového statistického souboru VSS, značka  $p_j$  je spojena s rozdílem hodnot distribuční funkce  $F(x)$  normálního rozdělení.“(23)

add. 7. „Parametrické testování vychází z aparátu dvou základních hypotéz - nulové hypotézy  $H_0$  (parametru populace) a alternativní hypotézy  $H_a$  (v případě, že neplatí  $H_0$  pak  $H_a$  vymezuje nastalou situaci). Tento aparát se obvykle doplňuje aparátem pro kritický obor  $W$ .

Testování parametrických hypotéz je možné členit na jednovýběrové testování hypotézy, tedy testování o rozptylu nebo o střední hodnotě a na dvojevýběrové testování o rozptylu nebo rovnosti středních hodnot.”(23)

add. 6. „Dalším krokem statistického šetření a zároveň další základní metodou matematické statistiky je odhadování teoretických parametrů. Pomocí bodových odhadů můžeme kvantifikovat teoretické parametry a najít bodový a intervalový odhad např. interval spolehlivosti.“(25) Tento krok nebude v rámci bakalářské práce prováděn, je uveden jen pro úplnost algoritmu statistického šetření.

„Bodové odhady neznámého parametru (parametrické funkce) jsou vlastně vhodně vybranou statistikou. Odhad je optimálnější, podle toho jak je blízko skutečné hodnotě odhadovaného parametru (parametrické funkce). Bodový odhad se dá provést buď momentovou metodou, kdy za jistých podmínek lze empirické parametry považovat za odhady odpovídajících teoretických parametrů, nebo metodou maximální věrohodnosti, která je matematicky náročnější.

Zavedením funkce  $L$  lze pro normální rozdělení  $N(\mu, \sigma)$  dokázat, že bodovými odhady teoretických parametrů  $\mu, \sigma$  jsou empirické parametry obecný moment 1. řádu  $O_1$  a směrodatná odchylka  $S_x$  jako odmocnina centrálního momentu 2. řádu  $C_2$ . Nevýhodou bodových odhadů je neznalost přesnosti, s kterou byl odhad učiněn. Intervalové odhady tento problém neznalosti přesnosti odhadu odstraňují. Snaží se o sestrojení intervalu, ve kterém leží skutečná hodnota teoretického parametru. Tato pravděpodobnost souvisí s volbou hladiny statistické významnosti a zkonstruovaný interval pak nese název „100 (1 -  $\alpha$ )% interval spolehlivosti“ (např. pro  $\alpha = 0,05$  půjde o 95% interval spolehlivosti). Poté lze konstruovat interval spolehlivosti pro střední hodnotu  $\mu$  normálního rozdělení pomocí  $u$ -testu, kdy je rozptyl  $\sigma^2$  předem zadán, nebo konstruovat interval spolehlivosti pro střední hodnotu  $\mu$  normálního rozdělení pomocí  $t$ -testu, kdy není rozptyl  $\sigma^2$  předem znám. Dalším krokem je konstrukce intervalu spolehlivosti pro rozptyl  $\sigma^2$  normálního rozdělení pomocí  $\chi^2$ -testu, nicméně podmínkou je vypočítat empirický rozptyl  $S_x$ .“(25)

add. 7. „Parametrický test teoretických parametrů normálního rozdělení.

Normální rozdělení  $N(\mu, \sigma)$  má dva teoretické parametry, kterými jsou teoretický obecný moment 1. řádu  $O_1 = \mu = E(x)$  a teoretický centrální moment 2. řádu  $C_2 = \sigma^2 = D(x)$ .”(23)

Při jednovýběrovém parametrickém testování parametru  $\mu$  je používán jednovýběrový t-test (teoretický parametr  $\sigma$  je neznámý) ve tvaru

$$t = \frac{O_1 - \mu_0}{S_x} \sqrt{n}, H_0: \mu = \mu_0$$

levostranná alternativa  $W = (-\infty; -t_{n-1}(0,05))$  při  $H_a: \mu$  je menší než  $\mu_0$

pravostranná alternativa  $W = (t_{n-1}(0,05); \infty)$  při  $H_a: \mu$  je větší než  $\mu_0$

dvojstranná alternativa  $W = (-\infty; -t_{n-1}(0,025)) \cup (t_{n-1}(0,025); \infty)$  při  $H_a: \mu \neq \mu_0$

Při jednovýběrovém metrickém testování parametru  $\sigma$  je používán jednovýběrový  $\chi^2$ -test ve tvaru

$$\chi^2 = \frac{(n-1)\sigma^2}{\sigma_0} \sqrt{n}, H_0: \mu = \mu_0$$

levostranná alternativa  $W = (0; \chi_{n-1}^2(1-0,05))$  při  $H_a: \sigma$  je menší než  $\sigma_0$

pravostranná alternativa  $W = (\chi_{n-1}^2(0,05); \infty)$  při  $H_a: \sigma$  je větší než  $\sigma_0$

dvojstranná alternativa  $W = (0; \chi_{n-1}^2(1-0,025)) \cup (\chi_{n-1}^2(0,025); \infty)$  při  $H_a: \sigma \neq \sigma_0$ “(23)

V bakalářské práci budou testovány rozdíly v úrovni znalostí mezi studenty prezenční a kombinované formy studia. Z hlediska dvou zkoumaných výběrových statistických souborů bude použito dvojbvýběrové parametrické testování s použitím dvojbvýběrového t-testu a jeho kritického oboru  $W$ .

$$t_{\text{exp}} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{x1}^2 + (n_2 - 1)S_{x2}^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}},$$

$$W = (-\infty; -t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2)) \cup (t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2); \infty)$$

## Charakteristika zkoumaného oboru

### Charakteristika 1. ročníku prezenčního studia

V prvním ročníku je celkem 11 studentů. Po rozhovoru bylo zjištěno jejich dosud dosažené vzdělání. Celkem 5 studentů maturovalo na střední zdravotnické škole, 3 studenti studovali na gymnáziu a další 3 studenti navštěvovali střední školy jiného zaměření – ekonomickou, elektroprůmyslovou a střední odbornou školu sociální. Sestava této třídy nebyla překvapující. Očekávala se převaha středních zdravotnických škol a gymnázií, a tak to také bylo. Také se očekávaly mnohem lepší výsledky u gymnazistů než u zdravotníků, protože měli tyto studenti výhodu rozsáhlejších znalostí ve fyzice i matematice.

### Charakteristika 1. ročníku kombinovaného studia

V prvním ročníku studia kombinovaného byl předložen test celkem 19 studentům. Opět byli dotázáni na dosud dosažené vzdělání. Výsledek byl překvapující, nedopadl dle očekávání, jelikož se očekávala převaha vysokoškolského nebo alespoň vyššího odborného vzdělání v oblasti zdravotnictví. Očekávalo se také, že tato skupina studentů bude mít horší výsledky než-li první ročník prezenčního studia, protože mají nižší dotaci hodin fyziky i matematiky. 11 studentů zatím dokončilo pouze střední školy nejružnějšího zaměření – zemědělská, ekonomická, strojírenská, průmyslová střední škola. 2 studenti navštěvovali střední odbornou školu zdravotnickou, 3 studenti dosáhli na vyšší odborné vzdělání, pouze 1 student dokončil vzdělání na vyšší odborné škole zdravotnické a pouze 2 studenti studovali na vysoké škole. Tedy jen 3 studenti již studovali školu se zdravotnickým zaměřením a celkem 4 studenti dosáhli na vyšší odborné vzdělání a 2 studenti mají již vysokou školu.

## Charakteristika 2. ročníku prezenčního studia

Ve druhém ročníku prezenčního studia, kterého je autorka této bakalářské práce též součástí, je celkem 15 studentů tzn. 14 bez autorky. Zde byly očekávány všeobecně lepší výsledky než u ročníků prvních, protože tato skupina studentů už prošla hodinami jak fyziky a matematiky v prvním ročníku, tak i přednáškami z radioterapie v ročníku druhém. Předpokládalo se, že studenti mají více znalostí a tím i vyšší předpoklady pro správné řešení předloženého testu. Předpokládalo se také, že většina studentů má střední zdravotnickou školu nebo i vysokou školu v oblasti zdravotnictví. Předpoklad byl správný. 3 studenti mají vystudované gymnázium, 1 student vystudoval střední školu ekonomickou a 10 studentů má střední školu zdravotnickou.

## Charakteristika 2. ročníku kombinovaného studia

V tomto ročníku je 13 studentů. Spolupráce s těmito studenty (kromě pár výjimek) byla poněkud obtížnější než spolupráce s předchozími studenty. Emaily od těchto studentů chodily několik měsíců, což práci značně zpozdilo. Každopádně se očekávalo, že studenti budou mít převážně vysokoškolské studium nebo studium v oblasti zdravotnictví. Vysokou školu absolvoval pouze jeden student v oboru fyzioterapie (titul Bc.), dále jeden student absolvoval VOŠ, další student dvouletou nástavbu v oboru radiologický asistent (DiS) a dva studenti mají střední školu zdravotnickou. Dále bylo zjištěno, že jeden student získal titul DiS v oboru farmacie, tři studenti ukončili vzdělání na všeobecném gymnáziu a jeden student na gymnáziu se zaměřením na biochemii. Také 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.

## 4. Výsledky

A) Vytvoření textu odpovídajícího konceptuálnímu kurikulu (sdělitelnému vědeckému systému radiologické fyziky v oblasti klasických kruhových urychlovačů) a edukačního textu odpovídajícího očekávanému kurikulu a projektovému kurikulu (edukačnímu obsahu pro studium oboru Radiologický asistent a oboru příbuzných a jeho promítnutí do edukačního textu přiměřeného studentům) – uskutečnění kroku metodiky I, II a III.

Popsané výsledky jsou předloženy v Přílohách bakalářské práce a), e) (text v češtině a text publikovaný v angličtině odpovídající konceptuálnímu kurikulu) a b) (text odpovídající očekávanému a projektovému kurikulu, tj. text přiměřený studentům oboru Radiologický asistent a oboru příbuzných).

Dalším výsledkem bakalářské práce je předložení edukačního testu jako odrazy implementovaného kurikula-1 (příprava autorky bakalářské práce na výuku) a implementovaného kurikula-2 (výsledky dosažené výukou jako vědomosti studentů) – uskutečnění kroku metodiky IV a Va.

Popsané výsledky jsou předloženy v Přílohách bakalářské práce d) (edukační test odpovídající edukačnímu textu přiměřeného studentům oboru Radiologický asistent a oborům příbuzným) a c) (test odpovídající konceptuálnímu kurikulu – tento test je přiložen pro úplnost a odráží možnost přednášet na úrovni sdělitelného vědeckého systému radiologické fyziky v oblasti klasických kruhových urychlovačů).

B) Statistické zpracování výsledků měření:

Zpracováno dle zdroje (26,31).

Formulace statistického šetření



<b>HNJ</b>	měření znalostí studentů 1. a 2. r. v roce 2011/2012
<b>SJ</b>	student
<b>HNS</b>	rozpětí max a min rozsahu znalostí: 7b - 20 bodů
<b>SZ</b>	rozsah znalostí
<b>VSS=ZSS</b>	

### Škálování

Bylo provedeno 57 měření v podobě testu na škále 1 až 5 ( 1: 11 a méně bodů; 2: 12, 13; 3:14,15; 4: 16,17; 5: 18 a více bodů).

Kvantitativní metrická škála (tzn. rozpětí je stejné).

Znázorňuje 1.sloupec v tabulce.

### Měření

Zachycují 1. a 2. sloupec v tabulce.

*Naměřené hodnoty*

škála	počet studentů 1. r.		škála	počet studentů 2. r.	
	PS	KS		PS	KS
1	0	5	1	1	0
2	1	5	2	2	1
3	4	6	3	8	8
4	6	3	4	1	1
5	0	0	5	2	3

## Elementární statistické zpracování

Počítá se 1. a 2. ročník dohromady.

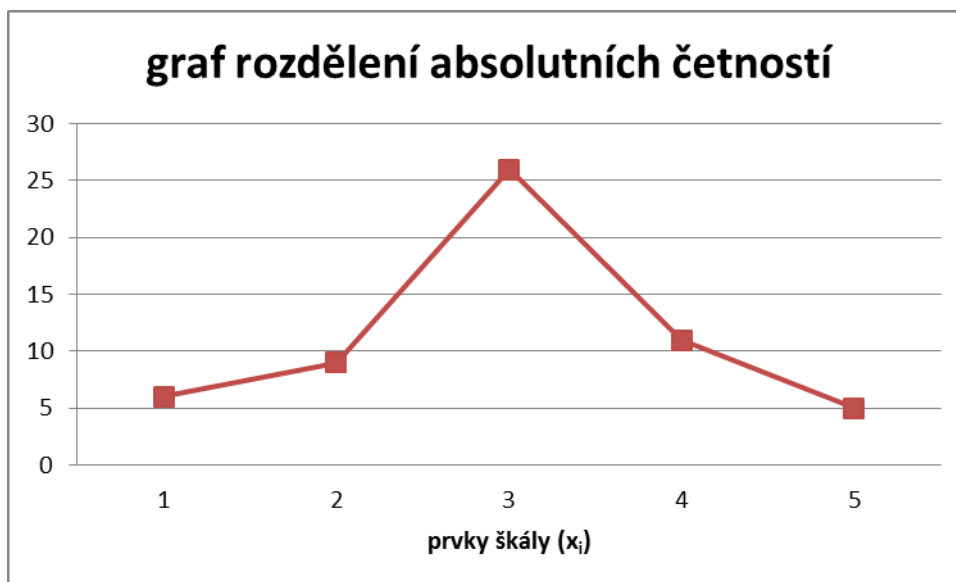
### a) tabulka

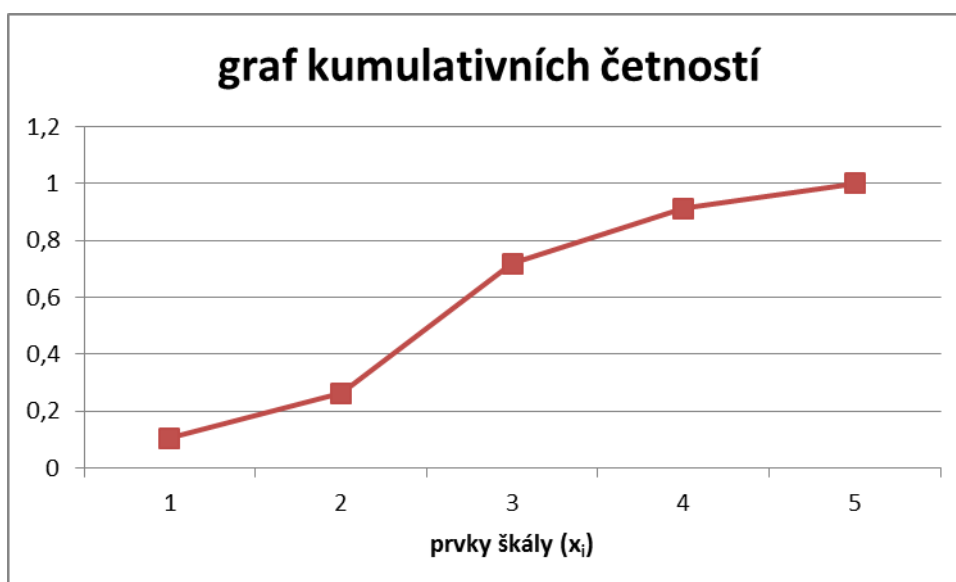
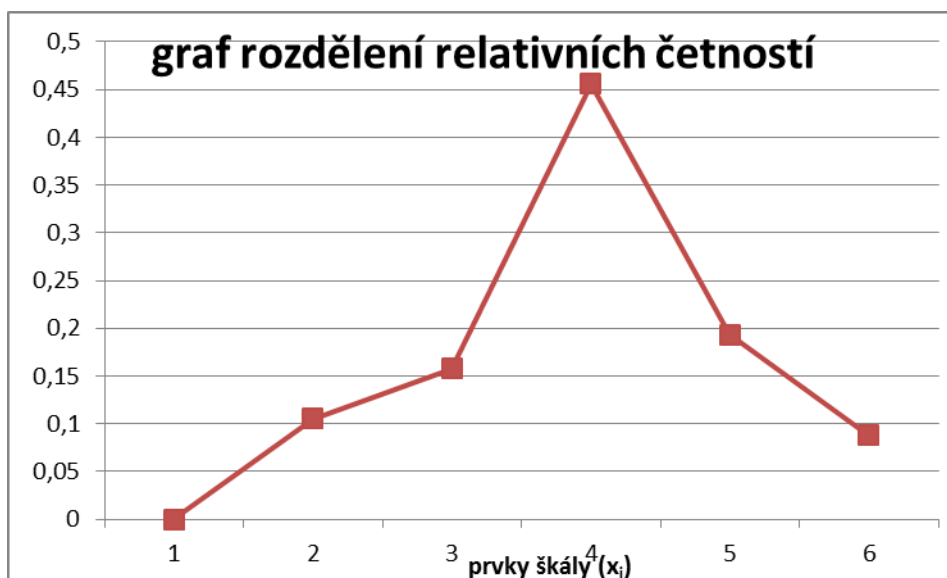
obecné momenty r-tého řádu:

$O_1$        $O_2$        $O_3$        $O_4$

$x_i$	$n_i$	$n_i/n$	$\sum n_i/n$	$x_i \cdot n_i$	$x_i^2 \cdot n_i$	$x_i^3 \cdot n_i$	$x_i^4 \cdot n_i$
1	6	0,105263	0,105263	6	6	6	6
2	9	0,157895	0,263158	18	36	72	144
3	26	0,45614	0,719298	78	234	702	2106
4	11	0,192982	0,912281	44	176	704	2816
5	5	0,087719	1,00	25	125	625	3125
$\sum$	57	1		171	577	2109	8197

### b) empirické rozdělení četností





- parametry polohy:

$$O_1 = 171/57 = 3,00$$

- parametry variability:

$$C_2 = O_2 - O_1^2$$

$$O_2 = \sum n_i/n \cdot x_i^2 \quad O_2 = 577/57 \quad O_2 = 10,122807$$

$$C_2 = 10,122807 - 32 \quad C_2 = 1,122807$$

$$S_x = \sqrt{C_2} \quad S_x = 1,06$$

- parametry šikmosti:

$$O_3 = n_i/n \cdot x_i^3 \quad O_3 = 2109/57 \quad O_3 = 37$$

$$C_3 = O_3 - 3O_2O_1 + 2O_1^3 \quad C_3 = 37 - 3 \cdot 10,122807 \cdot 3 + 2 \cdot 33 \quad C_3 = -0,11$$

$$N_3 = -0,11/1,122807 \cdot (O_2 - O_1^2) / 2 \quad N_3 = -0,11/1,122807 \cdot 1,0596259$$

$$N_3 = -0,11/1,1897554 \quad N_3 = -0,09$$

- parametry špičatosti:

$$N_4 = C_4/C_2^2$$

$$O_4 = n_i/n \cdot x_i^4 \quad O_4 = 8197/57 \quad O_4 = 143,80702$$

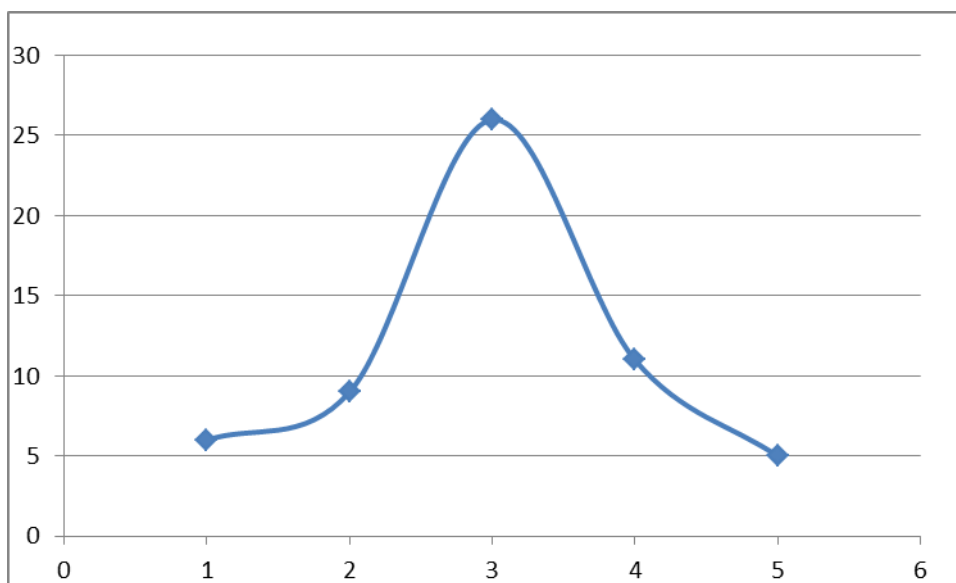
$$C_4 = O_4 - 4O_3O_1 + 6O_2O_1^2 - 3O_1^4$$

$$C_4 = 143,80702 - 4 \cdot 37 \cdot 3 + 6 \cdot 10,122807 \cdot 32 - 3 \cdot 34 \quad C_4 = 3,44$$

$$N_4 = 3,44/1,1228072 \quad N_4 = 2,73$$

$N_4 \sim 3$  optimální Gaussova křivka

- Normální rozdělení – Gaussova křivka:



- neparametrické testování -intervalové rozdělení četností:

$x_i$	$n_i$	$n_i/n$	$\sum n_i/n$	$x_i \cdot n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
$(-\infty; 1,5>$	6	0,105263	0,105263	6	6	6	6
$(1,5; 2,5>$	9	0,157895	0,263158	18	36	72	144
$(2,5; 3,5>$	26	0,45614	0,719298	78	234	702	2106

(3,5;4,5>	11	0,192982	0,912281	44	410	704	2816
(4,5;∞)	5	0,087719	1,00	25	125	625	3125
Σ	57	1		171	811	2109	8197

- Vyjádření ploch p1 až p5 pomocí distribuční funkce F(x)

(při volbě pěti prvků škály):

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

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

$$u_1 = (x_1 \cdot HM - O_1) / S_x$$

$$u_2 = (x_2 \cdot HM - O_1) / S_x$$

$$u_3 = (x_3 \cdot HM - O_1) / S_x$$

$$u_4 = (x_4 \cdot HM - O_1) / S_x$$

$$u_5 = (x_5 \cdot HM - O_1) / S_x$$

- Aplikace  $\chi^2$ -testu dobré shody:

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

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

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

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

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

- Výpočet  $\chi^2$  kritické:

$\chi^2$  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  $N(\mu; \sigma)$ )

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

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

$$O_1 = 3,00$$

$$S_x = 1,06$$

$n_i$	$x_i$	$u_i$
$n_1/n = 6/57$	$x_1 = 1,5$	$u_1 = \frac{1,5 - 3}{1,06} = -1,4$
$n_2/n = 9/57$	$x_2 = 2,5$	$u_2 = \frac{2,5 - 3}{1,06} = -0,47$
$n_3/n = 26/57$	$x_3 = 3,5$	$u_3 = \frac{3,5 - 3}{1,06} = 0,47$
$n_4/n = 11/57$	$x_4 = 4,5$	$u_4 = \frac{4,5 - 3}{1,06} = 1,47$
$n_5/n = 5/57$	$x_5 = \infty$	$u_5 = \infty$

$$p_1 = \int_{-\infty}^{-1,4} \rho(u) du = F(-1,4) = 1 - F(1,4) = 1 - 0,92 = 0,08$$

$$p_2 = \int_{-1,4}^{-0,47} \rho(u) du = F(-0,47) - F(-1,4) = [1 - F(0,47)] - [1 - F(1,4)] = 0,32 - 0,08 = 0,24$$

$$p_3 = \int_{-0,47}^{0,47} \rho(u) du = F(0,47) - F(-0,47) = F(0,47) - [1 - F(0,47)] = 0,68 - 0,32 = 0,36$$

$$p_4 = \int_{0,47}^{1,4} \rho(u) du = F(1,4) - F(0,47) = 0,92 - 0,68 = 0,24$$

$$p_5 = \int_{1,4}^{\infty} \rho(u) du = 1 - F(1,4) = 0,08$$

$x_i$	interval	$n_i$	$u_i$	$F(u_i)$	$p_i$	$np_i$
1	$(-\infty; 1,5>$	6	-1,4	0,92	0,08	4,56
2	$(1,5; 2,5>$	9	-0,47	0,32	0,24	13,68
3	$(2,5; 3,5>$	6	0,47	0,68	0,36	20,52
4	$(3,5; 4,5>$	1	1,4	0,92	0,24	13,68
5	$(4,5; \infty)$		$\infty$	1	0,08	4,56

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

1	0,45
2	1,6
3	1,46
4	0,52
5	0,04
$\Sigma$	4,07

$$\begin{aligned} \chi^2_{exp} &= \frac{(6-57 \cdot 0,08)^2}{57 \cdot 0,08} + \frac{(9-57 \cdot 0,24)^2}{57 \cdot 0,24} + \frac{(26-57 \cdot 0,36)^2}{57 \cdot 0,36} + \frac{(11-57 \cdot 0,24)^2}{57 \cdot 0,24} + \frac{(5-57 \cdot 0,08)^2}{57 \cdot 0,08} \\ &= 0,45 + 1,60 + 1,46 + 0,52 + 0,04 \\ &= 4,07 \end{aligned}$$

- Kritická teoretická hodnota a stupně volnosti:

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

$$v = 2$$

$$\chi^2_{k-r-1}(\alpha = 0,05) = \chi^2_{5-2-1}(0,05) = \chi^2_2(0,05) = 5,99 = \chi^2_{teor.}$$

- Pravostranný kritický obor W:

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

$\chi_{exp}^2$  nepatří do  $W$

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

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

prezenční studium

$x_i$	$n_i$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$
1	1	1	1
2	3	6	12
3	12	36	108
4	7	28	112
5	2	10	50
$\Sigma$	25	81	283

$$O_1 = 81/25 = 3,24$$

$$O_2 = 283/25 = 11,32$$

$$C_2 = 11,32 - (3,24)^2 = 11,32 - 10,50 = 0,82$$

$$S_x = 0,91$$

kombinované studium

$x_i$	$n_i$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$
1	5	5	5
2	6	12	24
3	14	42	126
4	4	16	64
5	3	15	75
$\Sigma$	32	90	294



$$O_1 = 90/32 = 2,81$$

$$O_2 = 294/32 = 9,19$$

$$C_2 = 9,19 - (2,81)^2 = 11,32 - 7,896 = 1,29$$

$$S_x = 1,14$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{3,24 - 2,81}{\sqrt{(25 - 1) 0,91^2 + (32 - 1) 1,14^2}} \sqrt{\frac{25 \cdot 32 (57 - 2)}{57}}$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{0,43}{\sqrt{19,68 + 39,99}} \sqrt{\frac{44000}{57}}$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{0,43}{\sqrt{59,67}} \sqrt{771,93}$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{0,43}{7,72} 27,78$$

$$t_{\text{exp}} = 0,56 \cdot 27,78 = 1,55$$

$$W = (-\infty; -1,96) \cup (1,96; \infty)$$

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

## 5. 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 jisté průměrné hodnoty znalostí s největší pravděpodobností klesají pravděpodobnosti jak hodnot nižších, tak i hodnot 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 naopak mají 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 byl 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.

Předpokladem bylo, že u prezenčního studia se experimentální výuka zaměří více na praktickou část tématu a u studentů kombinované formy studia část teoretickou.

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 asi 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:

- vytvořit vhodný edukační text aplikací kurikulárního procesu
- 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.

## 6. Závěry

Bakalářská práce se zabývala aplikací teorie kurikulárního procesu na radiologickou fyziku a na její konkrétní oblast – fyzikální podstatu klasických kruhových urychlovačů. 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 tím také byly naplněny i 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 autorky 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 autorky bakalářské práce v anglickém jazyce. Konceptuální kurikulum v oblasti fyzikální podstaty klasických kruhových urychlovačů (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.

Souhrmně 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 (viz přílohy práce) 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 – např. bylo by zajímavé přizpůsobit možnostem budoucích radiologických asistentů při jejich edukaci fyzikální základy relativistických kruhových urychlovačů.

## 7. Literatura

1. Čakiová, J., *Kanadský vzdělávací systém* [online]. 30.4.2007 [cit. 2012-04-23].  
Dostupné z: [www.nicm.cz/kanadsky-vzdelavaci-system](http://www.nicm.cz/kanadsky-vzdelavaci-system)
2. Čakiová, J., *Americký vzdělávací systém* [online]. 28.03.2006 [cit. 2012-04-23].  
Dostupné z: <http://www.nicm.cz/americky-vzdelavaci-system>
3. Čakiová, J., *Britský vzdělávací systém* [online]. 2006 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z:  
<http://www.nicm.cz/britsky-vzdelavaci-system>
4. Čakiová, J., *Německý vzdělávací systém* [online]. 08.06.2010 [cit. 2012-04-23].  
Dostupné z: <http://www.nicm.cz/nemecky-vzdelavaci-system>
5. Information Planet, *Systém vzdělávání v Austrálii* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23].  
Dostupné z: <http://australie.informationplanet.cz/studium-v-australii/system-vzdelani/>
6. European Commission, *Struktury systémů vzdělávání a odborné přípravy v Evropě Česká republika* [online]. 2009 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z:  
[http://eacea.ec.europa.eu/education/Eurydice/documents/eurybase/structures/041\\_CZ\\_CS.pdf](http://eacea.ec.europa.eu/education/Eurydice/documents/eurybase/structures/041_CZ_CS.pdf)
7. MŠMT, *Veřejné vysoké školy* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z:  
<http://www.msmt.cz/vzdelavani/verejne-vysoke-skoly-4>
8. MŠMT, *Státní vysoké školy* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z:  
<http://www.msmt.cz/vzdelavani/statni-vysoke-skoly-webove-stranky>
9. MŠMT, *Přehled veřejných soukromých škol* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23].  
Dostupné z: <http://www.msmt.cz/vzdelavani/prehled-verejnych-soukromych-skol>

11. The Michener Institute For Applied Health Sciences, *Radiological Technology Degree and Advanced Diploma Program* [online]. 2009 [cit.2012-04-23]. Dostupné z: [http://www.michener.ca/ft/rad\\_tech.php](http://www.michener.ca/ft/rad_tech.php)
10. National Academic Recognition Information Centre, *Vysokoškolský vzdělávací systém* [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [www.naric.cz/docs/vysokoskolsky-vzdelavaci-system-0110.pdf](http://www.naric.cz/docs/vysokoskolsky-vzdelavaci-system-0110.pdf)
12. Wikipedia, The Free Encyclopedia, *Radiologic technologist* [online]. 19.09. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Radiologic\\_technologist&oldid=508066042](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Radiologic_technologist&oldid=508066042)
13. Radiology Schools Medical Imaging Education & Career Guide, *Radiologist Assistant* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.radiology-schools.com/radiologist-assistant.html>
14. Radiology Schools, *Radiology Associates Degree* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.radiology-schools.com/radiology-associates-degree.html>
15. Radiology Schools, *Radiology Certificate* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.radiology-schools.com/radiology-certificate.html>
16. Radiology Schools, *Radiology Bachelors Degree* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.radiology-schools.com/radiology-bachelors-degree.html>
17. Radiology Schools, *Radiology Masters Degree* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.radiology-schools.com/radiology-masters-degree.html>
18. Wikipedia, The Free Encyclopedia, *Radiologie* [online]. 06. 10. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Radiologie&oldid=107731056>



19. Universitätsklinikum Ulm, *Medizinisch-technische Radiologieassistenz* [online]. 24.11.2010 [cit. 2012-04-23].  
Dostupné z: <http://www.uni-ulm.de/studium/gesundheitsfachberufe/medizinisch-technische-radiologieassistenz.html>
20. Universitätsklinikum Ulm, *Studium Bachelor of Science Medizintechnische Wissenschaften für Medizinisch-technische Assistenten und Operationstechnische Assistenten* [online] 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [http://www.akademie.uni-ulm.de/pdf/studium/dhbw\\_technik.pdf](http://www.akademie.uni-ulm.de/pdf/studium/dhbw_technik.pdf)
21. Universitätsklinikum Ulm, *Medizinisch-technische Radiologieassistenz (MTRA) Karriere* [online] 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [http://www.akademie.uni-ulm.de/ausbildung/medizinisch\\_technische\\_radiologieassistenz/mtra\\_karriere.htm](http://www.akademie.uni-ulm.de/ausbildung/medizinisch_technische_radiologieassistenz/mtra_karriere.htm)
22. DHBW Duale Hochschule Baden-Wuerttemberg, *Heidenheim* [online] 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.dhbw-heidenheim.de/>
23. BARTOŇOVÁ, M., *Srovnání znalostí z radiologické fyziky u laické a odborné veřejnosti*. České Budějovice: ZSF JU, 02.05.2012.
24. ZÁŠKODNÝ, P., *Kurikulární proces fyziky (s přehledem základů teoretické fyziky)*. ISBN 978-80-902491-0-3
25. BINTEROVÁ, J., *Regresní a korelační analýza časového vývoje počtu požárů ve vybraném regionu*. České Budějovice: ZSF JU, 21.5.2012.
26. ZÁŠKODNÝ, P., HAVRÁNKOVÁ, R., HAVRÁNEK, J., VURM, V., *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)*. Praha: CURRICULUM, 2011. ISBN 978-80-904948-2-4.

27. TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P., *Odmaturuj z fyziky*. 2. vyd. Brno: Didaktis spol. s r. o., 2006. ISBN 80-7358-058-6.
28. TARÁBEK, P., ZÁŠKODNÝ, P., *Educational and Didactic Communication 2010*. Bratislava: Didaktis, 2011. ISBN 978-80-89160-78-5.
29. ZÁŠKODNÝ, P., *Survey of Principles of Theoretical Physics (with application to radiology)*. Luzern, Switzerland: Avenira, 2006. ISBN 80-902491-9-1.
30. ZÁŠKODNÝ, P., *Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii)*. Luzern, Switzerland: Avenira, 2005. ISBN 80-89160-25-5.
31. ZÁŠKODNÝ, P., KOZLOVSKÁ, D., FREITINGER SKALICKÁ, Z., *Úvod do praktika z radiologické fyziky*. ZSF JU, 2005. ISBN 80-7040-797-2.
32. KOČANDRLE, M., BOČEK, L., *Matematika pro gymnázia-Analytická geometrie*. Prometheus, 2008. ISBN 978-80-7196-390-5.
33. HRUBÝ, D., KUBÁT, J., *Matematika pro gymnázia-Diferenciální a integrální počet*. Prometheus, 2009. ISBN 978-80-7196-363-9.
34. BINAROVÁ, A., *Radioterapie*. 1. vyd. Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií: Tribun, 2010. ISBN 978-80-7368-701-4.
35. STEDMAN, T. L., *Stedman's radiology words: includes nuclear medicine and other imaging*. 5. vyd. USA: Lippincott Williams and Wilkins, 2006. ISBN 13: 978-0-7817-7073-6, ISBN 10: 0-7817-7073-4.
36. KUPKA, K., KUBINYI, J., ŠÁMAL, M., *Nukleární medicína*. Příbram: P3K, 2007. ISBN 978-80-903584-9-2.

37. HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J., *Fundamentals of physics*. 8. vyd. USA: John Wiley and Sons, Inc., 2008. ISBN 978-0-470-04472-8.
38. BRUCKNER, J., *Urychlovače nabitých částic*. PF JU: 2002.
39. ROZMAN, J., *Elektronické přístroje v lékařství*. 1. vyd. Praha: Academia, 2006. ISBN 80-200-1308-3.
40. GASCHA, H., PFLANZ, S., *Kompedium fyziky*. 1. vyd. Banská Bystrica: Euromedia Group, k. s.-Universum, 2008. ISBN 978-80-242-2013-0.
41. DOROTÍK, J., *Radioterapeutické přístroje*. Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií: Tribun, 2010, ISBN 978-807368-220-0.
42. ULLMANN, V., *Jaderná a radiační fyzika*. 1. vyd.. Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií: Tribun, 2009, ISBN 978-80-7368-669-7.
43. REICHL, J., VŠETIČKA, J., *Cyklotron* [online]. 24.9.2008 [citováno 23. 04. 2012]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/859-cyklotron>.
44. SRNA, M., *PET-pozitronová emisní tomografie* [online]. 2009 [citováno 23. 04. 2012]. Dostupné z: <http://www.pet-spect.fbmi.cvut.cz/pet/index.php/Fotogalerie>.
45. SCHLIEMANN, M., Friedrich-Koenig Gymnasium, Wuerzburg. *Zyklotron und andere teichenbeschleuniger* [online]. [citováno 23. 04. 2012]. Dostupné z: <http://www.fkg-wuerzburg.de/schule/faecher/physik/lk/referate/r12/zyklotr.php>.
46. Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Cyklotron* [online]. 2011 [citováno 23. 04. 2012]. Dostupné z [www:](http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Cyklotron&oldid=7573946)  
<<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Cyklotron&oldid=7573946>>.

47. Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Lagrangeova funkce* [online]. 2012 [citováno 23. 04. 2012]. Dostupné z www: <[http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lagrangeova\\_funkce&oldid=8080895](http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lagrangeova_funkce&oldid=8080895)>.
48. KUSALA, J., *Miniencyklopedie: Elektrina, Cez* [online].2003 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/fyz7.htm>.
49. Proton Therapy Center, *Protonové centrum* [online]. 2011 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.ptc.cz/cs>.
50. VAŇÁSEK, J., Zdravotnické noviny. *ZDN: Principy protonové terapie* [online]. 27.2.2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.zdn.cz/clanek/priloha-lekarske-listy/principy-protonove-terapie-463619>.
51. OEDM-SER'11, *The 1st International e-Conference on Optimalization, Education and Data Mining in Science, Engeneering and Risk Management, PROCEEDINGS*. Praha:Curriculum 2011. Organizováno: Curriculum Studies Research Group CSRG, Slovakia department of Phychology and Applied Social Sciences University of Ostrava. ISBN 978-80-904948.
52. The EI Group-the Publisher of academic websites, *About Universities in Canada* [online] 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [studycanada.cz/ About-Universities-in-Canada.cfm](http://studycanada.cz/About-Universities-in-Canada.cfm)

## **8. Klíčová slova**

Zamýšlené kurikulum

Projektové kurikulum

Implementované kurikulum-1

Implementované kurikulum-2

Dosažené kurikulum

Lagrangeovův formalismus

Eulerův vztah

MacLaurinův a Taylorův rozvoj

Rezonanční podmínka cyklotronu

## 9. Přílohy

### 9.1 Edukační text – upravený pro studenty

#### Edukační text

#### „Fyzikální základy cyklotronů pro studenty radiologie.“

Fyzika ve třicátých letech 20. století znala proton, elektron, neutron, pozitron, neutrino a mezon, s jejichž pomocí vysvětlovala strukturu atomů. Tyto částice byly označovány jako elementární, to znamená, že byly považovány za základní stavební prvky atomů, které se neskládají z dalších menších částic. Postupem času však byly nalézány další částice, mimo jiné i při srážkách protonů, elektronů a dalších urychlených částic na vysoké energie v urychlovačích. Zjistilo se také, že částice považované za elementární se rozpadají na jiné částice. Zrodila se otázka: „Které z nich jsou tedy vlastně elementární?“ V dnešní době známe kolem 280 částic, fundamentální (základní) jsou částice bez vnitřní struktury, ale i když nejsou složeny z menších částic, mohou se při srážkách přeměňovat v jiné částice. Elementární částice jsou pak ostatní mikročástice (proton, elektron, deuteron, částice  $\alpha$ ).<sup>(27)</sup>

Urychlené mikročástice se v urychlovačích srážejí se vstřícným svazkem částic, které jsou také urychleny, nebo narážejí na pevný terčik. Při těchto srážkách vznikají jiné částice, které jsou detekovány detektory. Touto cestou můžeme nacházet a studovat nové částice. Princip urychlovače lze jednoduše popsat tak, že mikročástice s elektrickým nábojem  $Q$  prolétne mezi místy s potenciálovým rozdílem  $U$  a tím se zvýší její kinetická energie o  $QU$ . Abychom získali vysokou energii částice, necháme částici prolétnout tímto místem mnohokrát.<sup>(27,34,35,36)</sup>

Urychlovače se dělí dle trajektorie urychlované částice na lineární, kdy se jedná o přímku, a kruhové, u kterých má trajektorie tvar spirály nebo kružnice. Mezi kruhové urychlovače patří například cyklotron.(27,46)

Cyklotron (tzn. cyklický vysokofrekvenční urychlovač) se používá pro urychlení těžkých nabitých částic pomocí vysokofrekvenčního elektrického pole. Na rozdíl od lineárních urychlovačů nebývají tak masivní, ale mívají naopak komplikovanější konstrukci. Urychlovač má tři hlavní části: elektromagnet (velice silný), urychlovací komora s duanty (tj. s páry dutých urychlovacích elektrod), zdroj o vysoké frekvenci.(27,34,35,36,37,46)

Částice se pohybují uvnitř dutých urychlovacích elektrod svou setrvačností a jejich dráha je zakřívována magnetickým polem, orientovaným kolmo na rovinu dráhy částic. Duté elektrody působí jako Faradayova klec a proto uvnitř nich neovlivňuje dráhu částic elektrické, ale pouze magnetické pole. Urychlování probíhá pouze v mezeře mezi duanty. Ty jsou napájeny vysokofrekvenčním střídavým proudem vhodné frekvence. Elektrické pole mezi duanty působí vždy takovým směrem, aby zvýšilo rychlost částic. Kinetická energie urychlené částice může po mnoha obězích dosáhnout hodnoty až 50 MeV.(27,34,35,36,37,38,39,40,42)

U cyklotronu je magnetické pole užíváno jen k vedení svazku částic, ale neuvžívá se k jejich urychlování. Pole je orientováno kolmo na dráhu částic. Způsobuje zakřívování dráhy do kruhu, a jak roste rychlost částic, poloměr dráhy částic (kruhu) se zvětšuje, to tedy znamená, že se částice pohybují po přibližně spirálové dráze. Doba průchodu jednotlivými smyčkami spirály je ale konstantní. (27,34,35,36,38,39,40,42)

Cyklotronová frekvence ( $f$ ) vychází z velikosti elektrického náboje částice ( $Q$ ), z velikosti magnetické indukce ( $B$ ) a z hmotnosti částice ( $m$ ):  $f = QB/2\pi m$  (27)

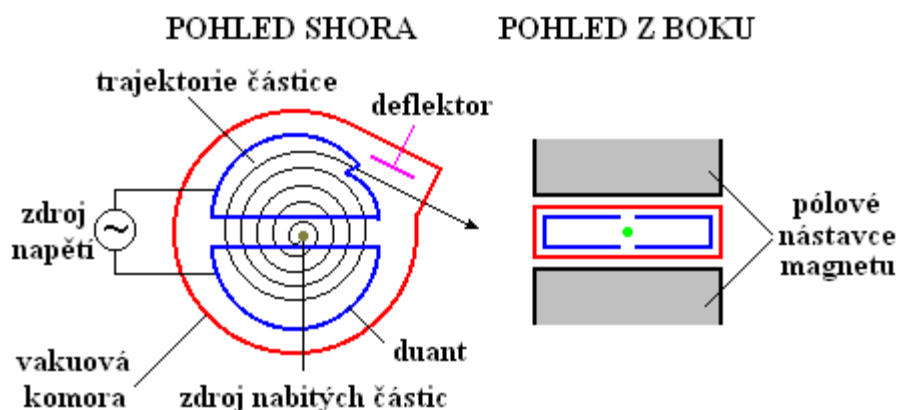
Jednoduše bychom mohli popsat princip cyklotronu tak, že se částice pohybují mezi póly velkého magnetu a toto magnetické pole je udržuje na kruhové dráze. Mikročástice jsou urychlovány elektrickým polem mezi půlkruhovými elektrodami (duanty), k nimž je připojeno vysoké napětí. Konstantní frekvence je volena tak, aby napětí změnilo polaritu za dobu, kterou částice potřebuje na prolétnutí půlkruhové dráhy

od jedné štěrbině k druhé a protože se rychlost částice zvětšuje, je její trajektorie spirálou.(27,34,41)

Cyklotron se užívá v radioterapii k výrobě umělých radioizotopů a k urychlení částic s následným užitím záření k ozařování a léčbě maligních nádorů, využívá se i k výrobě neutronového záření. Také se využívá k výrobě radioizotopů v nukleární medicíně. (34,36,38,39,41,49,50)

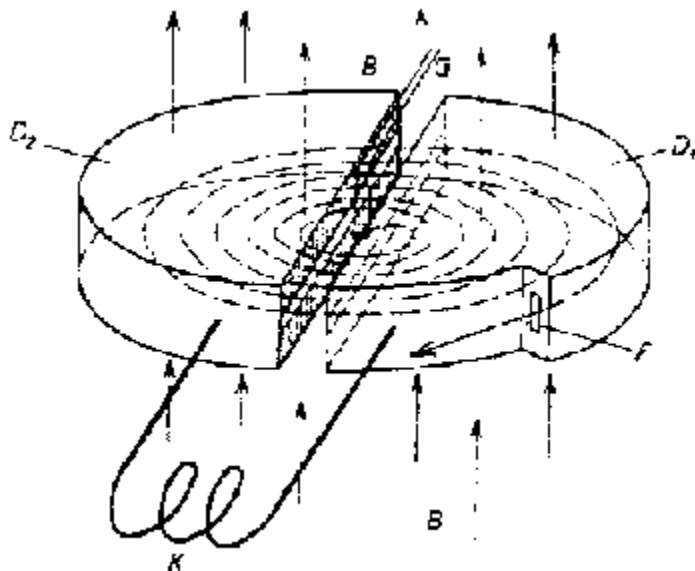
Pro názornost připojuji pár schémat - obrázků cyklotronu:

převzato z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/859-cyklotron> (43)



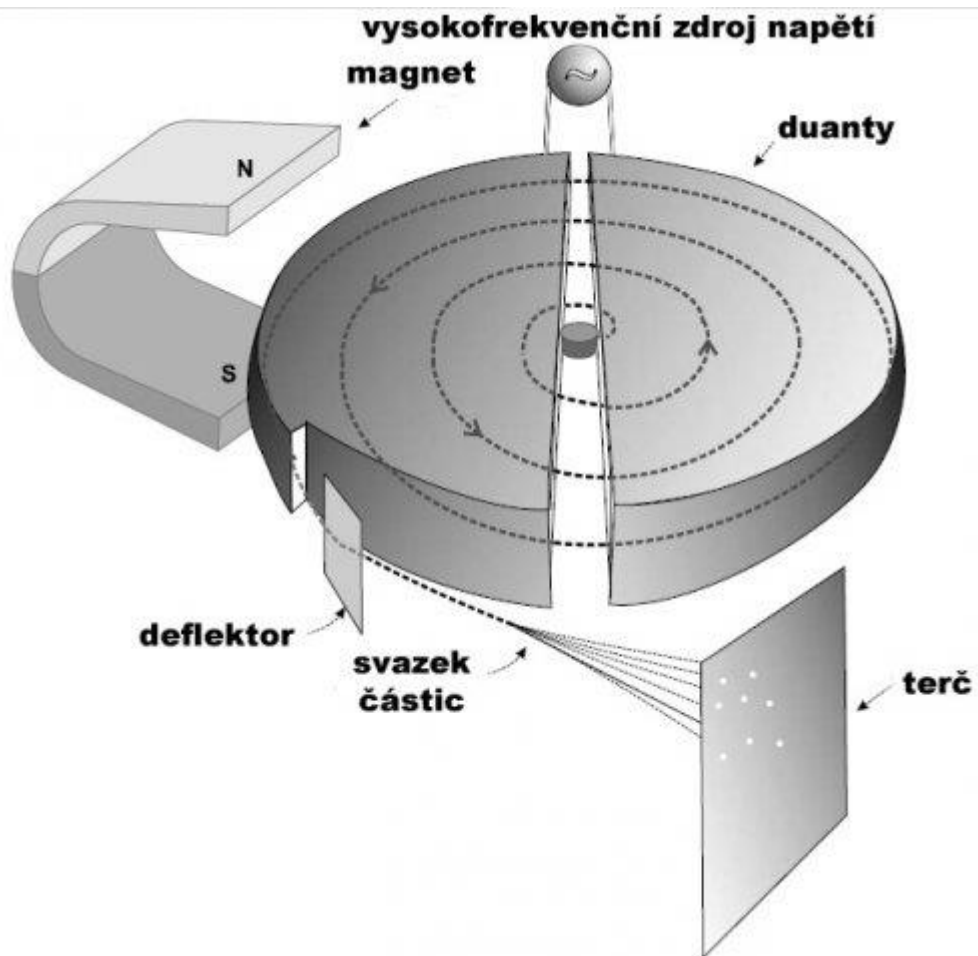
převzato z:

<http://www.fkg-wuerzburg.de/schule/faecher/physik/lk/referate/r12/zyklotr.php> (45)



převzato z: <http://www.pet-spect.fbmi.cvut.cz/pet/index.php/Fotogalerie>





[44]

Tento text se dále zabývá fyzikálními základy cyklotronu a cílem je najít rovnici, která popisuje pohyb částic v cyklotronu.

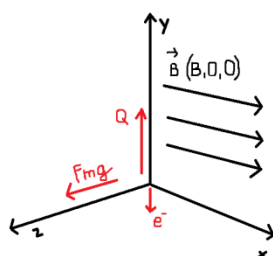
Nyní je důležité ujasnit si použité veličiny a pojmy ještě předtím než začneme řešit danou problematiku:

Magnetická indukce  $B$  je fyzikální vektorová veličina, která popisuje magnetické pole a vyjadřuje silové účinky magnetického pole na pohybující se elektrické náboje.[27]

Elektrický náboj se užívá ve dvou významech, za prvé může vyjadřovat stav elektricky nabitých částic nebo i těles, které mají elektrický náboj, tento náboj lze přenášet z jednoho tělesa na druhé, můžeme stručně říkat “náboj”, za druhé znamená

“elektrický náboj” fyzikální veličinu, která charakterizuje míru stavu elektricky nabitých částic či těles a protože se jedná o veličinu, má i své jednotky tzv. coulomby C ( $1\text{ C} = 1\text{ A} \cdot \text{s}$  v soustavě SI).(27)

Uvažujme tedy o elektronu v homogenním magnetickém poli s počátečními podmínkami  $\vec{B}(0,0,B)$ ,  $\vec{v}_0(0,v_0,0)$ ,  $\vec{r}_0(0,0,0)$ . Použijeme Flemingovo pravidlo levé ruky, které nám říká, že náboj působí v ose  $y$  a  $Fmg$  v ose  $z$ , pro elektron platí opačný směr než pro náboj. Kruh je tedy předpoklad, zde nebudeme dokazovat dráhu částic. Na následujícím náčrtku jsem situaci znázornila: (matematické postupy a pravidla dle zdrojů (29,30,31,32,33,48))



Pro magnetickou sílu  $\vec{F}mg = Q(\vec{v} \times \vec{B})$  pro electron bude platit, že  $\vec{F}_m = -e(\vec{v} \times \vec{B})$ ,  $\vec{F}_m = e(\vec{B} \times \vec{v})$ . Po dosazení  $\vec{B}(B_x, B_y, B_z)$ ,  $\vec{v}(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$ :  $\vec{F}_m = e(B_y \dot{z} - B_z \dot{y}, B_z \dot{x} - B_x \dot{z}, B_x \dot{y} - B_y \dot{x})$ ,  $\vec{F}_m = e(0, -B\dot{z}, -B\dot{y})$ , vyjádříme složky pohybové rovnice:

$$0 = m\ddot{x}$$

$$-eB\dot{z} = m\ddot{y}$$

$$eB\dot{y} = m\ddot{z}$$

$$m^2(\ddot{x}^2 + \ddot{z}^2) = e^2 B^2(\dot{y}^2 + \dot{z}^2)$$

Rovnice umocníme a sečteme, ale v ose  $x$  se nic neodehrává, tedy s ní nepočítáme:

$$m^2(\dot{y}^2 + \dot{z}^2)$$

$m^2(\ddot{y}^2 + \ddot{z}^2) = e^2 B^2(\dot{y}^2 + \dot{z}^2)$  kdy  $(\ddot{x}^2 + \ddot{z}^2)$  prezentuje zrychlení,  
 $(\dot{y}^2 + \dot{z}^2)$  prezentuje rychlost,

$$m^2 r^2 \omega^4 = e^2 B^2 v^2, r\omega = v, r\omega^2 = \frac{v^4}{r^2}, \text{ kdy } v^2 \text{ reprezentuje rychlost vletu elektronu,}$$

$$m^2 \frac{v^4}{r^2} = e^2 B^2 v \Rightarrow r$$

Vypočteme poloměr pomocí vzorce  $F = \frac{mv^2}{r}$ ,  $F_m^2 = m^2 a_n^2$ , kdy  $a_n^2$  je dostředivé

zrychlení:  $\frac{mv_0^2}{r} = eBv_0$

a získáme tvar:  $m^2 a_n^2 = e^2 B^2 v_0^2$  tedy  $ma_n = eBv_0$

$$\frac{mv_0^2}{r} = eBv_0 \text{ a vyjádříme } r: r = \frac{mv_0}{eB}$$

Možná by bylo dobré vysvětlit si dostředivé zrychlení:

Dostředivá síla způsobuje pohyb tělesa po křivce např. po kružnici, kdy směřuje do středu kružnice. Tato síla je příčinou dostředivého zrychlení. Podle 2. Newtonova zákona platí tyto vztahy: (27)

$$\vec{F}_d = m\vec{a}_d, a_d = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

Pokud by elektron byl vržen pod jiným úhlem než  $90^0$ , jednalo by se o vrh šikmý s úhlem  $\alpha$ :

$$v_0(v_0 \cos \alpha, v_0 \sin \alpha, 0)$$

$$m^2 a_n^2 = e^2 B^2 v_0^2 \sin^2 \alpha \text{ tedy } ma_n = eBv_0 \sin \alpha, r = \frac{mv_0 \sin \alpha}{eB}$$

Rozepíšeme jednotlivé složky  $x, y, z$ :

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

$$y = r \sin \omega \cdot t$$

$$z = r \cos \omega \cdot t$$

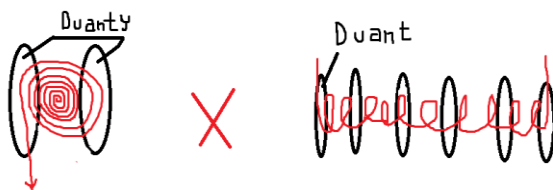
$$v = \omega r$$

$$a_n = \omega^2 r$$

$$\omega = \frac{v_0 \sin \alpha}{r}$$

Jednalo by se ale o šroubovici, nikoliv o kruh, a taková dráha částic je nevhodná.

Pokusila jsem se o náčrtek, jak by situace vypadala:



## 9.2 Test upravený pro studenty JU

### Test

- 1) Jaký je hlavní rozdíl mezi lineárním a kruhovým urychlovačem?
  - a) U lineárních urychlovačů je trajektorie kružnice, u kruhových je trajektorie přímka.
  - b) U lineárních urychlovačů je trajektorie přímka, u kruhových urychlovačů kružnice či spirála. Mezi kruhové urychlovače ale nepatří cyklotron.
  - c) U lineárních urychlovačů je trajektorie přímka, u kruhových je trajektorie kružnice nebo spirála. Mezi kruhové urychlovače patří například cyklotron.
- 2) Jaký druh urychlovače je cyklotron?
  - a) Je lineární urychlovač.
  - b) Je cyklický vysokofrekvenční urychlovač.
  - c) Může být lineárním i cyklickým urychlovačem.
- 3) Vysvětlete pojem „stacionární magnetické pole“.
  - a) Stacionární magnetické pole je takové magnetické pole, které se nemění v čase, tj. veličiny charakterizující pole jsou konstantní.
  - b) Stacionární magnetické pole je takové magnetické pole, které se nemění v čase, tj. veličiny charakterizující pole nejsou konstantní.
  - c) Stacionární magnetické pole je takové magnetické pole, které se mění v čase, tj. veličiny charakterizující pole nejsou konstantní.
- 4) Co jsou to duanty?
  - a) Jsou páry dutých urychlovacích elektrod.
  - b) Jsou částice urychlované v urychlovači.
  - c) Nejsou součástí urychlovače.

- 5) Co jsou fundamentální tj. základní částice?
- a) Fundamentální částice, které se nemohou přeměňovat v jiné částice.
  - b) Fundamentální částice jsou částice elementární.
  - c) Fundamentální (základní) jsou částice bez vnitřní struktury, ale mohou se při srážkách přeměňovat v jiné částice.
- 6) Proč je dráha částice v cyklotronu spirála?
- a) Protože se rychlost částic zmenšuje.
  - b) Protože se rychlost částic nemění.
  - c) Protože se rychlost částice zvětšuje.
- 7) Na čem závisí cyklotronová frekvence?
- a) Nezávisí na žádné jiné veličině.
  - b) Cyklotronová frekvence ( $f$ ) vychází z velikosti elektrického náboje částice ( $Q$ ), z velikosti magnetické indukce ( $B$ ) a z hmotnosti částice ( $m$ ):  $f = QB/2\pi m$ .
  - c) Závisí pouze na velikosti elektrického náboje částic ( $Q$ ).
- 8) Jaký význam má magnetické pole pro cyklotron?
- a) Zakřivuje dráhu částic do kružnice.
  - b) Urychluje částice.
  - c) Nemá žádný význam.
- 9) K čemu používáme Flemingovo pravidlo levé ruky?
- a) K určení směru gravitační síly.
  - b) K určení směru indukčních čar.
  - c) K určení směru magnetické síly.
- 10) Jaký význam má elektrické pole pro cyklotron?
- a) Zakřivuje dráhu částic.
  - b) Urychluje částice.
  - c) Nemá žádný význam.

- 11) V jaké oblasti medicíny například se cyklotron užívá?
- V radioterapii k ozařování a léčbě maligních nádorů.
  - Cyklotron se v medicíně neužívá.
  - Užívá se na ve všech oblastech.
- 12) Jaké 3 hlavní části má cyklotron?
- Vlnovod, dutinový rezonátor, urychlovací komora.
  - Urychlovací komora, elektromagnet, modulátor.
  - Elektromagnet, urychlovací komora s duanty, zdroj o vysoké frekvenci.
- 13) Kde se v cyklotronu pohybují urychlované částice?
- Uvnitř dutých urychlovacích elektrod (duantů).
  - Nad dutými urychlovacími elektrodami.
  - Pod dutými urychlovacími elektrodami.
- 14) Čím jsou duanty napájeny?
- Nejsou napájeny.
  - Vysokofrekvenčním střídavým proudem.
  - Nízkofrekvenčním stejnosměrným proudem.
- 15) Kde přesně probíhá urychlování částic v cyklotronu?
- V mezeře mezi duanty.
  - Uvnitř duantů.
  - V celém cyklotronu.
- 16) Vztah pro dostředivou sílu je:
- $\vec{F}_d = m \cdot \vec{a}_d$  dle 2. Newtonova zákona, pro těleso pohybující se po kružnici pak platí  $\vec{F}_d = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r$
  - $\vec{F}_d = m \cdot \omega_d^2$
  - $\vec{F}_d = r \cdot \vec{a}_d^2$

- 17) V oblasti kruhových urychlovačů je dostředivá síla vyjádřena:
- $F = Q \cdot v \cdot B$
  - $F = Q \cdot B$
  - $F = B \cdot v$
- 18) V oblasti kruhových urychlovačů má pohybová rovnice tvar:
- $\vec{F}_{el} = m\ddot{\vec{r}}$
  - $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$
  - $\vec{F}_{mg} = m\ddot{\vec{r}}$
- 19) Poloměr kruhových urychlovačů lze vypočítat dle vzorce:
- $r = mv^2QB$
  - $QvB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv^2}{QvB}$
  - $r = v^2Bm$
- 20) Při daném typu částice rychlost částice závisí na:
- Q
  - v
  - B

### ***9.3 Edukační text – konceptuální kurikulum***

#### **Edukační text**

#### **„Fyzikální základy cyklotronů pro studenty radiologie.“**

Fyzika ve třicátých letech 20. století znala proton, elektron, neutron, pozitron, neutrino a mezon, s jejichž pomocí vysvětlovala strukturu atomů. Tyto částice byly označovány jako elementární, to znamená, že byly považovány za základní stavební



prvky atomů, které se neskládají z dalších menších částic. Postupem času však byly nalézány další částice, mimo jiné i při srážkách protonů, elektronů a dalších urychlených částic na vysoké energie v urychlovačích. Zjistilo se také, že částice považované za elementární se rozpadají na jiné částice. Zrodila se otázka: „Které z nich jsou tedy vlastně elementární?“ V dnešní době známe kolem 280 částic, fundamentální (základní) jsou částice bez vnitřní struktury, ale i když nejsou složeny z menších částic, mohou se při srážkách přeměňovat v jiné částice. Elementární částice jsou pak ostatní mikročástice (proton, elektron, deutron, částice  $\alpha$ ). (27)

Urychlené mikročástice se v urychlovačích srážejí se vstřícným svazkem částic, které jsou také urychleny, nebo narážejí na pevný terč. Při těchto srážkách vznikají jiné částice, které jsou detekovány detektory. Touto cestou můžeme nacházet a studovat nové částice. Princip urychlovače lze jednoduše popsat tak, že mikročástice s elektrickým nábojem  $Q$  prolétne mezi místy s potenciálovým rozdílem  $U$  a tím se zvýší její kinetická energie o  $QU$ . Abychom získali vysokou energii částice, necháme částici prolétnout tímto místem mnohokrát. (27,34,35,36)

Urychlovače se dělí dle trajektorie urychlované částice na lineární, kdy se jedná o přímku, a kruhové, u kterých má trajektorie tvar spirály nebo kružnice. Mezi kruhové urychlovače patří například cyklotron. (27,46)

Cyklotron (tzn. cyklický vysokofrekvenční urychlovač) se používá pro urychlení těžkých nabitých částic pomocí vysokofrekvenčního elektrického pole. Na rozdíl od lineárních urychlovačů nebývají tak masivní, ale mívají naopak komplikovanější konstrukci. Urychlovač má tři hlavní části: elektromagnet (velice silný), urychlovací komora s duanty (tj. s páry dutých urychlovacích elektrod), zdroj o vysoké frekvenci. (27,34,35,36,37,46)

Částice se pohybují uvnitř dutých urychlovacích elektrod svou setrvačností a jejich dráha je zakřívována magnetickým polem, orientovaným kolmo na rovinu dráhy částic. Duté elektrody působí jako Faradayova klec a proto uvnitř nich neovlivňuje dráhu částic elektrické, ale pouze magnetické pole. Urychlování probíhá pouze v mezeře mezi

duanty. Ty jsou napájeny vysokofrekvenčním střídavým proudem vhodné frekvence. Elektrické pole mezi duanty působí vždy takovým směrem, aby zvýšilo rychlost částic. Kinetická energie urychlené částice může po mnoha obězích dosáhnout hodnoty až 50 MeV.(27,34,35,36,37,38,39,40,42)

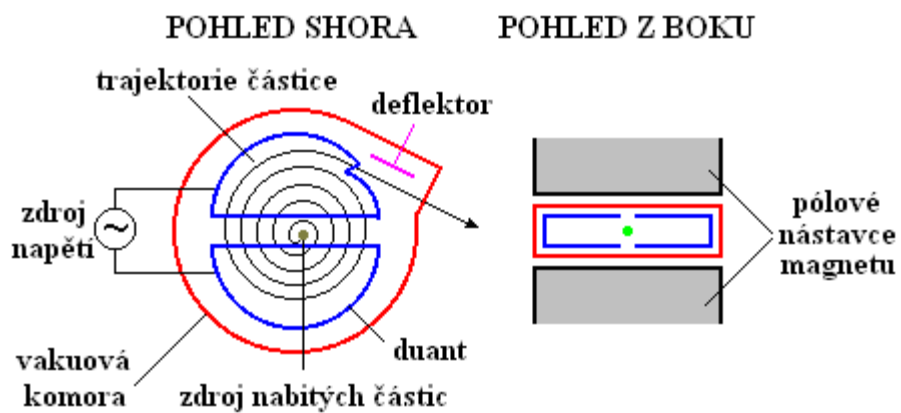
U cyklotronu je magnetické pole užíváno jen k vedení svazku částic, ale neuvžívá se k jejich urychlování. Pole je orientováno kolmo na dráhu částic. Způsobuje zakřivování dráhy do kruhu, a jak roste rychlost částic, poloměr dráhy částic (kruhu) se zvětšuje, to tedy znamená, že se částice pohybují po přibližně spirálové dráze. Doba průchodu jednotlivými smyčkami spirály je ale konstantní.(27,34,35,36,38,39,40,42)

Cyklotronová frekvence ( $f$ ) vychází z velikosti elektrického náboje částice ( $Q$ ), z velikosti magnetické indukce ( $B$ ) a z hmotnosti částice ( $m$ ):  $f = QB/2\pi m$  (27)

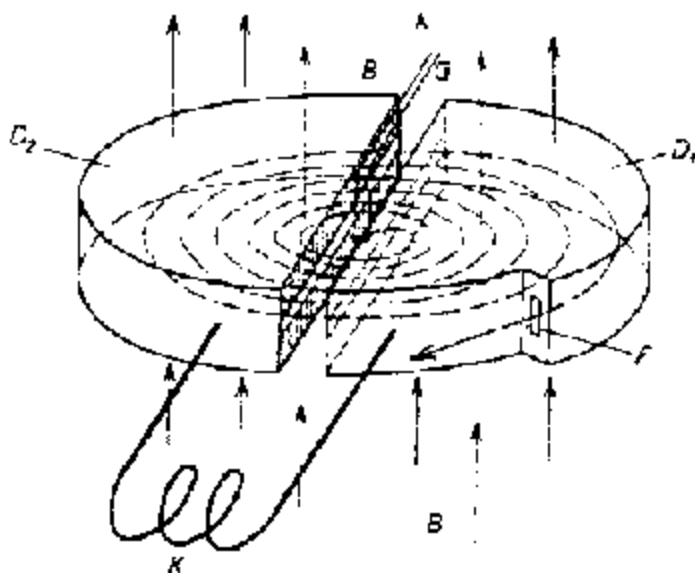
Jednoduše bychom mohli popsat princip cyklotronu tak, že se částice pohybují mezi póly velkého magnetu a toto magnetické pole je udržuje na kruhové dráze. Mikročástice jsou urychlovány elektrickým polem mezi půlkruhovými elektrodami (duanty), k nimž je připojeno vysoké napětí. Konstantní frekvence je volena tak, aby napětí změnilo polaritu za dobu, kterou částice potřebuje na prolétnutí půlkruhové dráhy od jedné štěrbiny k druhé a protože se rychlost částice zvětšuje, je její trajektorie spirálou.(27,34,41)

Cyklotron se užívá v radioterapii k výrobě umělých radioizotopů a k urychlení částic s následným užitím záření k ozařování a léčbě maligních nádorů, využívá se i k výrobě neutronového záření. Také se využívá k výrobě radioizotopů v nukleární medicíně. (34,36,38,39,41,49,50)

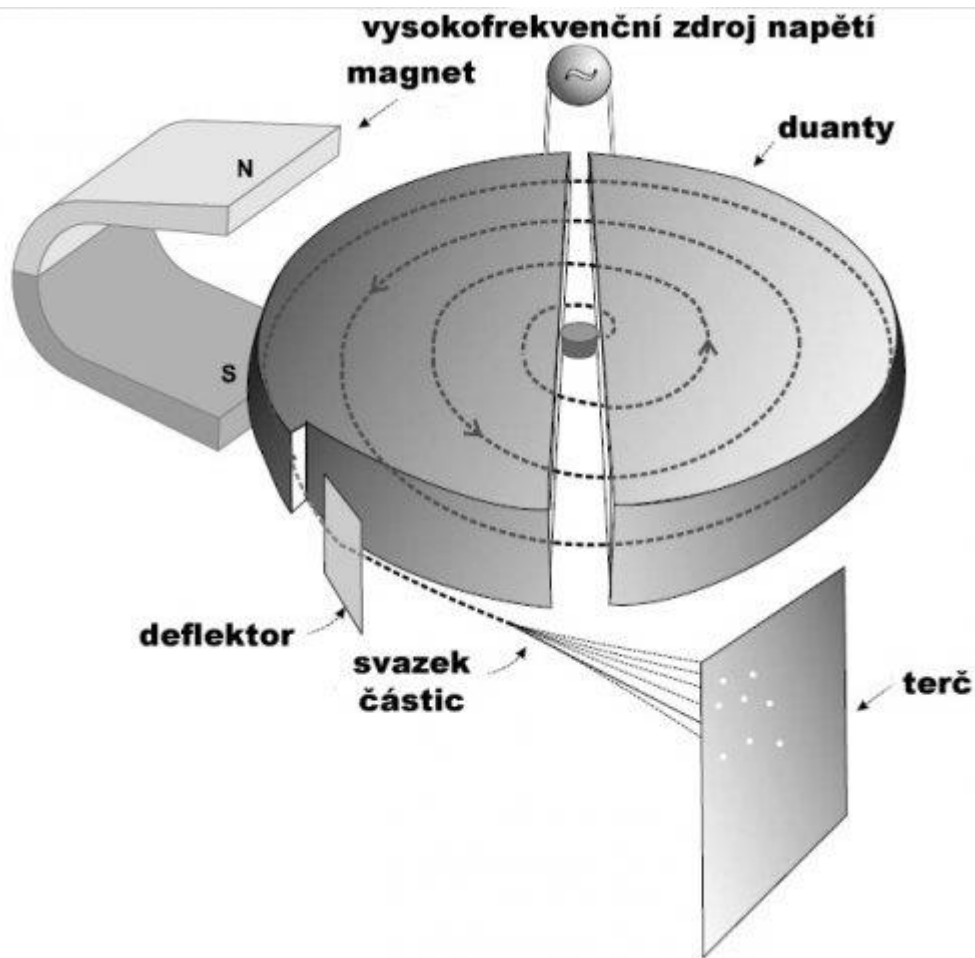
Pro názornost připojuji pár schémat - obrázků cyklotronu:  
 převzato z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/859-cyklotron> (43)



převzato z:  
<http://www.fkg-wuerzburg.de/schule/faecher/physik/lk/referate/r12/zyklotr.php> (45)



převzato z: <http://www.pet-spect.fbmi.cvut.cz/pet/index.php/Fotogalerie> (44)



Tento text se dále zabývá fyzikálními základy cyklotronu a cílem je najít rovnici, která popisuje pohyb částic v cyklotronu.

Nyní je důležité ujasnit si použité veličiny a pojmy ještě předtím než začneme řešit danou problematiku:

Magnetická indukce  $B$  je fyzikální vektorová veličina, která popisuje magnetické pole a vyjadřuje silové účinky magnetického pole na pohybující se elektrické náboje.

(27)

Elektrický náboj se užívá ve dvou významech, za prvé může vyjadřovat stav elektricky nabitých částic nebo i těles, které mají elektrický náboj, tento náboj lze přenášet z jednoho tělesa na druhé, můžeme stručně říkat “náboj”, za druhé znamená “elektrický náboj” fyzikální veličinu, která charakterizuje míru stavu elektricky

nabitých částic či těles a protože se jedná o veličinu, má i své jednotky tzv. coulomby C (  $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$  v soustavě SI). (27)

Lagrangeovy funkce (lagrangián, kinetický potenciál systému), jsou funkce, které v sobě zahrnují popis dynamiky systému. Tato funkce je pojmenována po Lagrangeovi, který ji zavedl v rámci své formulace klasické mechaniky.(47)

Součástí elektromagnetického pole je pole magnetické. Stacionární magnetické pole je takové magnetické pole, které se nemění v čase, tj. veličiny charakterizující pole jsou konstantní.(27)

Všechny následující matematické operace a postupy jsou zpracovány dle zdrojů 29,30,31,32,33.

Homogenní konstantní magnetické pole má magnetickou indukci  $\vec{B}(0,0,B)$  a elektrické pole  $\vec{E}(0,0,0)$  a počáteční podmínky pro náboj jsou  $\vec{v}(0, v_0, 0)$ ,  $\vec{r}(0,0,0)$ .

Po dosazení do Lagrangeovy funkce  $L = \frac{1}{2}mv^2 + Q\vec{E}\vec{r} + \frac{Q}{2}\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v})$  bude získán její tvar.(47)

K výpočtu budeme potřebovat následující matematické operace: (32,33)

Vektorový součin:  $(\vec{v} \times \vec{r}) = (y\dot{z} - z\dot{y})\vec{i} + (z\dot{x} - x\dot{z})\vec{j} + (x\dot{y} - y\dot{x})\vec{k}$ , kdy použijeme souřadnice  $\vec{v}(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  a pohybový vektor  $\vec{r}(x, y, z)$ ,  $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

Skalární součin:  $\vec{E}\vec{r} = E_1r_1 + E_2r_2 + E_3r_3 = 0x\vec{i} + 0y\vec{j} + 0z\vec{k}$

Aplikujeme skalární a vektorový součin a získáme:

$$\vec{E}\vec{r} = 0$$

$$\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v}) = 0(y\dot{z} - z\dot{y})\vec{i} + 0(z\dot{x} - x\dot{z})\vec{j} + B(x\dot{y} - y\dot{x})\vec{k}$$

$$\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v}) = B(x\dot{y} - y\dot{x})$$

Z obecného tvaru Lagrangeovy funkce tak získáme konkrétní funkci pro dané podmínky ve tvaru:

$$L = \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) + \frac{Q}{2}B(xy - yx)$$

Po dosazení do Lagrangeových rovnic druhého druhu  $\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial L}{\partial q_j} = 0$  za

Lagrangeovu funkci lze obdržet pohybové rovnice ve tvaru:

Dosadíme souřadnice  $x = 0, y = 0, z = B$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial L}{\partial x} = 0$$

$$\frac{d}{dx} \frac{1}{2}m\dot{x}^2 = \frac{1}{2}m \frac{d}{dx} \dot{x}^2 = \frac{1}{2}2m\dot{x} = m\dot{x}$$

$$\frac{d}{dx} \frac{Q}{2}B(-xy) = \frac{Q}{2}B \frac{d}{dx}(-xy) = -\frac{Q}{2}By$$

$$\frac{d}{dx} \frac{Q}{2}Bxy = \frac{Q}{2}B \frac{d}{dx} xy = \frac{Q}{2}By$$

$$\frac{d}{dt} \left( m\dot{x} - \frac{Q}{2}By \right) - \frac{Q}{2}By = 0$$

$$\frac{d}{dy} \frac{1}{2}m\dot{y}^2 = \frac{1}{2}m \frac{d}{dy} \dot{y}^2 = \frac{1}{2}2m\dot{y} = m\dot{y}$$

$$\frac{d}{dy} \frac{Q}{2}B(xy) = \frac{Q}{2}B \frac{d}{dy} (xy) = \frac{Q}{2}Bx$$

$$\frac{d}{dy} \frac{Q}{2}B(-yx) = \frac{Q}{2}B \frac{d}{dy} (-yx) = -\frac{Q}{2}Bx$$

$$\frac{d}{dt} \left( m\dot{y} + \frac{Q}{2}Bx \right) + \frac{Q}{2}Bx = 0$$

$$\frac{d}{dz} \frac{1}{2}m\dot{z}^2 = \frac{1}{2} \frac{d}{dz} m\dot{z}^2 = \frac{1}{2}2m\dot{z} = m\dot{z}$$

$$m\dot{z} = 0$$

$$m\ddot{z} = 0$$

$$\ddot{z} = 0$$

Nyní provedeme 2. derivaci a dostaneme tento tvar:

$$m\ddot{x} - \frac{Q}{2}B\dot{y} - \frac{Q}{2}B\dot{y} = 0$$

$$m\ddot{x} - QB\dot{y} = 0$$

$$m\ddot{y} + \frac{Q}{2}B\dot{x} + \frac{Q}{2}B\dot{x} = 0$$

$$m\ddot{y} + QB\dot{x} = 0$$

$$m\ddot{z} = 0$$

Postupně vyjádříme  $\ddot{x}$ ,  $\ddot{y}$ ,  $\ddot{z}$  z rovnic a použijme konstantu  $\omega = \frac{QB}{m}$ :

$$\ddot{x} = \frac{QB}{m} \dot{y}$$

$$\ddot{x} = \omega \dot{y}$$

$$\ddot{y} = -\frac{QB}{m} \dot{x}$$

$$\ddot{y} = -\omega \dot{x}$$

Výsledkem jsou tvary pohybových rovnic:

$$\ddot{x} = \omega \dot{y}$$

$$\ddot{y} = -\omega \dot{x}$$

$$\ddot{z} = 0$$

Pro snadnější počítání vynásobíme rovnici  $\ddot{y} = -\omega \dot{x}$  imaginární jednotkou  $i$ :

$$i\ddot{y} = -i\omega \dot{x}$$

Sečteme rovnice  $\ddot{y} = -i\omega \dot{x}$  a  $\ddot{x} = \omega \dot{y}$ :

$$\ddot{x} + i\ddot{y} = \omega \dot{y} - i\omega \dot{x}$$

$$\ddot{x} + i\ddot{y} = \omega(\dot{y} - i\dot{x})$$

Zlomek rozšíříme o imaginární jednotku:

$$\ddot{x} + i\ddot{y} = \frac{\omega}{i}(\dot{x} - i\dot{y})$$

Zavedeme vztah  $\alpha = x + iy$ :

$$\ddot{\alpha} = -i\omega\dot{\alpha}$$

Rovnici integrujeme:

$$\frac{d\dot{\alpha}}{\dot{\alpha}} = -i\omega dt$$

$$\ln \dot{\alpha} = -i\omega t + \ln C$$

Aplikujeme inverzní funkci:  $e^{\ln \alpha} = e^{\ln C} e^{\ln -i\omega t}$ ,  $\dot{\alpha} = C e^{-i\omega t}$

a dosadíme počáteční podmínky, vyjádříme konstantu C:

$$\dot{\alpha} = 0 + iv_0$$

$$\ln iv_0 = 0 + \ln C$$

$$\ln C = iv_0 \rightarrow C = iv_0$$

Použijeme Eulerův vztah:

$$\exp(-ik) = \cos k - i \sin k$$

$$e^{-i\omega t} = \cos \omega t - i \sin \omega t$$

$$\dot{x} + i\dot{y} = iv_0(\cos \omega t - \sin \omega t)$$

$$\dot{x} + i\dot{y} = iv_0 \sin \omega t + iv_0 \cos \omega t$$

$$\dot{x} = v_0 \sin \omega t$$

$$\dot{y} = v_0 \cos \omega t$$

Pro důkaz platnosti Eulerova vztahu použijeme MacLaurinův a Taylorův rozvoj:

$$e^x = 1 + \frac{x^1}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots$$

$$\cos x - i \sin x = \exp(-ix)$$



Provedeme integraci pravých a levých stran:

$$x = -\frac{v_0}{\omega} \cos \omega t + C_1$$

$$y = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t + C_2$$

Konstanty  $C_1, C_2$  zjistíme dle počátečních podmínek:

$$0 = -\frac{v_0}{\omega} \cos 0 + C_1 \rightarrow C_1 = \frac{v_0}{\omega}$$

$$0 = \frac{v_0}{\omega} 0 + C_2 \rightarrow C_2 = 0$$

$$x = -\frac{v_0}{\omega} \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega}$$

$$y = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t$$

$$\vec{r} = \left(-\frac{v_0}{\omega} \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega}\right)\vec{i} + \left(\frac{v_0}{\omega} \sin \omega t\right)\vec{j} + 0\vec{k}$$

Výsledkem je kružnice se středem  $S\left[0, \frac{v_0}{\omega}\right]$ ;  $r = \frac{v_0}{\omega}$  a její rovnice je:

Využijeme znalosti z analytické matematiky, rovnice pro kružnici má tvar:

$$(x - m)^2 + (y - n)^2 = r^2$$

Dosadíme:

$$\left(x - \frac{v_0}{\omega}\right)^2 + y^2 = \frac{v_0}{\omega} (\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t)$$

$$\left(x - \frac{v_0}{\omega}\right)^2 + y^2 = \frac{v_0^2}{\omega^2}$$

Uhlová frekvence oběhu po kružnici je:  $\omega = \frac{QB}{m}$  a proto  $v = \frac{QB}{2\pi m}$ .

Tato frekvence musí být splňována, aby byl cyklotron zrychlován.

## 9.4 Test pro konceptuální kurikulum

### Test

1) Vypočítejte vektorový součin  $\vec{r} \times \vec{v}$

a)  $\vec{r} \times \vec{v} = (r_2v_1 - r_3v_2, r_3v_1 - r_1v_3, r_1v_2 - r_2v_1)$

b)  $\vec{r} \times \vec{v} = (r_2v_1 - r_3v_2, r_3v_1 - r_1v_1, r_1v_2 - r_2v_1)$

c)  $\vec{r} \times \vec{v} = (r_2v_1 - r_3v_3, r_3v_1 - r_1v_1, r_1v_2 - r_2v_1)$

2) Vypočítejte součin  $\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v})$  při podmínce  $\vec{B}(0,0,B)$

$$\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v}) = 0(y\dot{z} - z\dot{y})\vec{i} + 0(z\dot{x} - x\dot{z})\vec{j} + B(xy - yx)\vec{k}$$

$$\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v}) = 0(yz - zy)\vec{i} + 0(zx - xz)\vec{j} + B(xy - yx)\vec{k}$$

$$\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v}) = 0(y\dot{z} - z\dot{y})\vec{i} + 0(z\dot{x} - x\dot{z})\vec{j} + B(xy - yx)\vec{k}$$

3) Zderivujte výrazy

$$\frac{d}{d\dot{x}} \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \quad \frac{d}{d\dot{x}} \frac{Q}{2} B(-\dot{x}y) \quad \frac{d}{dx} \frac{Q}{2} Bx\dot{y}$$

a)  $\frac{d}{d\dot{x}} \frac{1}{2} m \dot{x}^2 = \frac{1}{2} m \frac{d}{d\dot{x}} \dot{x}^2 = \frac{1}{2} 2m\dot{x} = m\dot{x}$

$$\frac{d}{d\dot{x}} \frac{Q}{2} B(-\dot{x}y) = \frac{Q}{2} B \frac{d}{d\dot{x}} (-\dot{x}y) = -\frac{Q}{2} By$$

$$\frac{d}{dx} \frac{Q}{2} Bx\dot{y} = \frac{Q}{2} B \frac{d}{dx} x\dot{y} = \frac{Q}{2} B\dot{y}$$

b)  $\frac{d}{d\dot{x}} \frac{1}{2} m \dot{x}^2 = \frac{1}{2} m \frac{d}{d\dot{x}} \dot{x}^2 = \frac{1}{2} 2m\dot{x} = m\dot{x}$

$$\frac{d}{dx} \frac{Q}{2} B(-\dot{x}y) = \frac{Q}{2} B \frac{d}{dx} (\dot{x}y) = -\frac{Q}{2} B\dot{y}$$

$$\frac{d}{dx} \frac{Q}{2} Bx\dot{y} = \frac{Q}{2} \frac{d}{dx} x\dot{y} = \frac{Q}{2} B\dot{y}$$

$$c) \frac{d}{dx} \frac{1}{2} m\dot{x}^2 = \frac{1}{2} m \frac{d}{dx} \dot{x} = \frac{1}{2} 2m\dot{x} = m\dot{x}$$

$$\frac{d}{dx} \frac{Q}{2} B(-\dot{x}y) = QB \frac{d}{dx} (\dot{x}y) = QB\dot{y}$$

$$\frac{d}{dx} \frac{Q}{2} Bx\dot{y} = \frac{Q}{2} \frac{d}{dx} x\dot{y} = \frac{Q}{2} B\dot{y}$$

4) Vyjádřete  $\ddot{x}$ ,  $\ddot{y}$ ,  $\ddot{z}$  z rovnic po 2. derivaci

$$m\ddot{x} - \frac{Q}{2} B\ddot{y} - \frac{Q}{2} B\ddot{y} = 0$$

$$m\ddot{y} + \frac{Q}{2} B\ddot{x} + \frac{Q}{2} B\ddot{x} = 0$$

$$m\ddot{z} = 0$$

$$a) \ddot{y} = -\omega\dot{x} \quad \ddot{x} = \omega\dot{y} \quad \ddot{z} = 0$$

$$b) \ddot{y} = \dot{x} \quad \ddot{x} = \omega y \quad \ddot{z} = 1$$

$$c) \ddot{y} = x \quad \ddot{x} = \omega y \quad \ddot{z} = 2$$

5) Dokažte platnost Eulerova vztahu  $\exp(-ik) = \cos k - i \sin k$  pomocí MacLaurinova a Taylorova rozvoje

$$\text{a) } e^x = 1 + \frac{x^1}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots$$

$$\text{b) } e^x = 1 + \frac{x^1}{1} + \frac{x^2}{2} + \dots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4} - \dots$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \dots$$

$$\text{c) } e^x = 1 + \frac{x}{1} + \frac{x}{2} + \dots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x}{2} + \frac{x}{4} - \dots$$

$$\sin x = x - \frac{x}{3} + \frac{x}{5} - \dots$$

6) Dokažte rovnost  $\ddot{\alpha} = -i\omega\dot{\alpha}$ , když víte, že  $\alpha = x + iy$ ,  $\dot{y} = -\omega\dot{x}$ ,  $\ddot{x} = \omega\dot{y}$

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad & \ddot{x} + i\ddot{y} = \omega\dot{y} - i\omega\dot{x} \\ & \ddot{x} + i\ddot{y} = \omega(\dot{y} - i\dot{x}) \\ & \ddot{x} + i\ddot{y} = \frac{\omega}{i}(\dot{x} - i\dot{y}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad & x + iy = \omega y - i\omega x \\ & x + iy = (\dot{y} - i\dot{x}) \\ & x + iy = (\dot{x} - i\dot{y}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c)} \quad & x + iy = y - ix \\ & x + iy = (\dot{y} - i\dot{x}) \\ & x + iy = (\dot{x} - \dot{y}) \end{aligned}$$

7) Nalezněte konstanty  $C_1$  a  $C_2$  dle počáteční podmínky  $\vec{r}(0,0,0)$ , když

víte, že  $x = -\frac{v_0}{\omega} \cos \omega t + C_1$ ,  $y = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t + C_2$

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad & 0 = -\frac{v_0}{\omega} \cos 0 + C_1 \rightarrow C_1 = \frac{v_0}{\omega} \\ & 0 = \frac{v_0}{\omega} 0 + C_2 \rightarrow C_2 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad & 0 = -\frac{v_0}{\omega} + C_1 \rightarrow C_1 = \frac{v_0}{\omega} \\ & 0 = \frac{v_0}{\omega} + C_2 \rightarrow C_2 = -\frac{v_0}{\omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } 0 &= -\frac{v_0}{\omega} \cos 0 + C_1 \rightarrow C_1 = \frac{v_0}{\omega} \\ 0 &= \omega \cdot 0 + C_2 \rightarrow C_2 = 0 \end{aligned}$$

8) Integrujte výraz  $\int (iv_0 \cos \omega t + v_0 \sin \omega t) dt$ , využijte substituce:

$$iv_0 \int \cos \omega t dt + v_0 \int \sin \omega t dt$$

$$iv_0 \frac{1}{\omega} \int \cos u du + \frac{v_0}{\omega} \int \sin u du$$

$$u = \omega t$$

$$du = \omega dt$$

$$\text{a) } x = -\frac{v_0}{\omega} \cos \omega t + C_1 \quad y = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t + C_2$$

$$\text{b) } x = -\frac{v_0}{\omega} \cos t + C_1 \quad y = \frac{v_0}{\omega} \sin t + C_2$$

$$\text{c) } x = \frac{v_0}{\omega} \cos t + C_1 \quad y = \frac{v_0}{\omega} \sin t + C_2$$

9) Najděte souřadnice středu  $S$  kružnice  $k$ , jestliže víte, že  $x = -\frac{v_0}{\omega} \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega}$ ,  $y = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t$ , využijte například poznatky z analytické matematiky o kružnici:  $S[0,0]$  pak platí  $r^2 = x^2 + y^2$ , pokud je posunutý střed  $S[m,n]$  pak platí  $r^2 = (x - m)^2 + (y - n)^2$

a)  $S\left[0, \frac{v_0}{\omega}\right]$

b)  $S\left[1, \frac{v_0}{x}\right]$

c)  $S\left[0, \frac{v_0}{\omega}\right]$

10) Najděte poloměr  $r$  a rovnici kružnice  $k$ , využijte poznatky z úlohy 9)

a)  $r = \frac{v_0}{\omega} \quad \left(x - \frac{v_0}{\omega}\right)^2 + y^2 = \frac{v_0^2}{\omega^2}$

b)  $r = \omega \quad (x - 1)^2 + y^2 = \frac{v_0^2}{\omega^2}$

c)  $r = v \quad \left(x - \frac{v_0}{\omega}\right) + y = \frac{v_0}{\omega}$

11) Popište princip urychlovače.

a. Urychlené mikročástice se v urychlovačích srážejí se vstřícným svazkem částic, které jsou také urychleny, nebo narážejí na pevný terčik. Při těchto srážkách vznikají jiné částice, které jsou detekovány detektory. Touto cestou můžeme nacházet a studovat nové částice. Princip urychlovače lze jednoduše popsat tak, že mikročástice s elektrickým nábojem  $Q$  prolétne mezi místy s potenciálovým rozdílem  $U$  a tím se

zvýší její kinetická energie o  $QU$ . Abychom získali vysokou energii částice, necháme částici prolétnout tímto místem mnohokrát.

b. Urychlené mikročástice se v urychlovačích srážejí se vstřícným svazkem částic, které jsou také urychleny, nebo narážejí na pevný terčik. Při těchto srážkách ale nevznikají jiné částice. Princip urychlovače lze jednoduše popsat tak, že mikročástice s elektrickým nábojem  $Q$  prolétnou mezi místy s potenciálovým rozdílem  $U$  a tím se zvýší její kinetická energie o  $QU$ . Abychom získali vysokou energii částice, necháme částici prolétnout tímto místem mnohokrát.

c. Urychlené mikročástice se v urychlovačích nesrážejí se vstřícným svazkem částic, které jsou také urychleny, ani nenanarážejí na pevný terčik. Princip urychlovače lze jednoduše popsat tak, že mikročástice s elektrickým nábojem  $Q$  prolétnou mezi místy s potenciálovým rozdílem  $U$  a tím se zvýší její kinetická energie o  $QU$ . Abychom získali vysokou energii částice, necháme částici prolétnout tímto místem mnohokrát.

12) Popište 2 základní druhy urychlovačů – lineární a kruhové.

a) Urychlovače se dělí dle trajektorie urychlované částice na lineární, kdy se jedná o přímku, a kruhové, u kterých má trajektorie tvar spirály nebo kružnice. Mezi kruhové urychlovače patří například cyklotron.

b) Urychlovače se dělí dle trajektorie urychlované částice na lineární, kdy se jedná o kruh, a kruhové, u kterých má trajektorie tvar spirály. Mezi kruhové urychlovače patří například cyklotron.

c) Urychlovače se dělí dle trajektorie urychlované částice na lineární, kdy se jedná o přímku, a kruhové, u kterých má trajektorie tvar kružnice či spirály. Mezi kruhové urychlovače ale nepatří například cyklotron.



13) Popište princip cyklotronu.

a. Jednoduše bychom mohli popsat princip cyklotronu tak, že se částice pohybují mezi póly velkého magnetu a toto magnetické pole je udržuje na kruhové dráze. Mikročástice jsou urychlovány elektrickým polem mezi půlkruhovými elektrodami (duanty), k nimž je připojeno vysoké napětí. Konstantní frekvence je volena tak, aby napětí změnilo polaritu za dobu, kterou částice potřebuje na prolétnutí půlkruhové dráhy od jedné štěrbinu k druhé a protože se rychlost částice zvětšuje, její trajektorie je spirálou.

b. Jednoduše bychom mohli popsat princip cyklotronu tak, že se částice pohybují mezi póly velkého magnetu a toto magnetické pole je udržuje na kruhové dráze. Mikročástice jsou urychlovány elektrickým polem mezi půlkruhovými elektrodami (duanty), k nimž je připojeno vysoké napětí. Konstantní frekvence je volena tak, aby napětí změnilo polaritu za dobu, kterou částice potřebuje na prolétnutí půlkruhové dráhy od jedné štěrbinu k druhé a protože se rychlost částice zvětšuje, její trajektorie je přímka.

c. Jednoduše bychom mohli popsat princip cyklotronu tak, že se částice pohybují mezi póly velkého magnetu a toto magnetické pole je udržuje na kruhové dráze. Mikročástice jsou urychlovány elektrickým polem mezi půlkruhovými elektrodami (duanty), k nimž je připojeno vysoké napětí. Konstantní frekvence je volena tak, aby napětí změnilo polaritu za dobu, kterou částice potřebuje na prolétnutí půlkruhové dráhy od jedné štěrbinu k druhé a protože se rychlost částice zvětšuje, její trajektorie je přímka nebo spirála.

14) Vysvětlete pojem „stacionární magnetické pole“.

a) Stacionární magnetické pole je takové magnetické pole, které se nemění v čase, tj. veličiny charakterizující pole jsou konstantní.

b) Stacionární magnetické pole je takové magnetické pole, které se nemění v čase, tj. veličiny charakterizující pole nejsou konstantní.

c) Stacionární magnetické pole je takové magnetické pole, které se mění v čase, tj. veličiny charakterizující pole nejsou konstantní.

15) Co jsou elementární částice?

a. Elementární částice jsou mikročástice proton, elektron, deutron, částice  $\alpha$ ,...

b. Elementární částice jsou částice bez vnitřní struktury, které se nemohou přeměňovat v jiné částice.

c. Elementární jsou částice bez vnitřní struktury, ale i když nejsou složeny z menších částic, mohou se při srážkách přeměňovat v jiné částice.

16) Co znamená pojem „elektrický náboj“?

a. Elektrický náboj se užívá ve dvou významech, za prvé může vyjadřovat stav elektricky nabitých částic nebo i těles, které mají elektrický náboj, tento náboj lze přenášet z jednoho tělesa na druhé, můžeme stručně říkat “náboj”, za druhé znamená “elektrický náboj” fyzikální veličinu, která charakterizuje míru stavu elektricky nabitých částic či těles a protože se jedná o veličinu, má i své jednotky tzv. coulomby C ( $1\text{ C} = 1\text{ A} \cdot \text{s}$  v soustavě SI).

b. Elektrický náboj se užívá pouze v jednom významu, vyjadřuje stav elektricky nabitých částic nebo i těles, které mají elektrický náboj, tento náboj lze přenášet z jednoho tělesa na druhé, můžeme stručně říkat “náboj”.

c. Elektrický náboj se užívá ve dvou významech, za prvé může vyjadřovat stav elektricky nabitých částic nebo i těles, které mají elektrický náboj, tento náboj lze přenášet z jednoho tělesa na druhé, můžeme stručně říkat “náboj”, za druhé znamená “elektrický náboj”

fyzikální veličinu, která charakterizuje míru stavu elektricky nabitých částic či těles a protože se jedná o veličinu, nemá své jednotky.

- 17) Co jsou to duanty?
- Jsou páry dutých urychlovacích elektrod.
  - Jsou částice urychlované v urychlovači.
  - Nejsou součástí urychlovače.
- 18) Co jsou fundamentální tj. základní částice?
- Fundamentální (základní) jsou částice bez vnitřní struktury, ale i když nejsou složeny z menších částic, mohou se při srážkách přeměňovat v jiné částice.
  - Fundamentální částice jsou částice s vnitřní strukturou.
  - Fundamentální částice jsou částice bez vnitřní struktury, které se nemohou přeměňovat v jiné částice.
- 19) Proč je dráha částice v cyklotronu spirála?
- Protože se rychlost částice zvětšuje.
  - Protože se rychlost částic zmenšuje.
  - Protože se rychlost částic nemění.
- 20) Na čem závisí cyklotronová frekvence?
- Cyklotronová frekvence ( $f$ ) vychází z velikosti elektrického náboje částice ( $Q$ ), z velikosti magnetické indukce ( $B$ ) a z hmotnosti částice ( $m$ ):  $f = QB/2\pi m$ .
  - Nezávisí na žádné jiné veličině.
  - Závisí pouze na velikosti elektrického náboje částic ( $Q$ ).

## 9.5 Publikace autorky bakalářské práce

### How to Explain Physics Base of Cyclotron for Radiology Students

Barbora Vesela<sup>1</sup>, University of South Bohemia, Ceske Budejovice, Czech Republic

Email: madonaathena@seznam.cz<sup>1</sup>

**Key words:** intended curriculum, Lagrangian Formalism, Lagrange equations, Euler's relation, MacLaurin's and Taylor's expansion, the resonance condition of a cyclotron

#### **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 cyclotron is very important part of radiology students education.

---

#### I. 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” (see Prucha, 2005)

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 cyclotron is very important part of radiology students education.

## **1. Application of Lagrangian Formalism** (see P.Zaskodny, 2006)

The part of an electromagnetic field is the magnetic field. Stationary magnetic field is a magnetic field that does not change over time, the quantities characterizing the field are constant.

Homogeneous and constant electromagnetic field has magnetic induction  $\vec{B}(0,0,B)$  and electromagnetic field  $\vec{E}(0,0,0)$ . The initial conditions of charge are:  $\vec{v}(0,v_0,0), \vec{r}(0,0,0)$ . By substitution of the Lagrangian function  $L = \frac{1}{2}mv^2 + Q\vec{E}\vec{r} + \frac{Q}{2}\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v})$  we will get its form.

To calculate this equation we will need these mathematic operations:

Vector multiplication:

$$(\vec{v} \times \vec{r}) = (yz - zy)\vec{i} + (zx - xz)\vec{j} + (xy - yx)\vec{k}$$

Velocity vector  $\vec{v}(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$

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

Scalar multiplication:

$$\vec{E}\vec{r} = E_1r_1 + E_2r_2 + E_3r_3 = 0x\vec{i} + 0y\vec{j} + 0z\vec{k}$$

Application of vector and scalar multiplication:

$$\vec{E}\vec{r} = 0$$

$$\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v}) = 0(yz - zy)\vec{i} + 0(zx - xz)\vec{j} + B(xy - yx)\vec{k}$$

$$\vec{B}(\vec{r} \times \vec{v}) = B(xy - yx)$$

From the general form of Lagrange function we get concrete function:

$$L = \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) + \frac{Q}{2}B(xy - yx)$$

After a substitution of Lagrange function into Lagrange equations of second type  $\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial L}{\partial q_j} = 0$  we can get motion equations. We will be to substitute coordinates  $x=0, y=0, z=B$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial L}{\partial x} = 0$$

$$\frac{d}{dx} \frac{1}{2} m \dot{x}^2 = \frac{1}{2} m \frac{d}{dx} \dot{x}^2 = \frac{1}{2} 2m\dot{x} = m\dot{x}$$

$$\frac{d}{dx} \frac{Q}{2} B(-\dot{x}y) = \frac{Q}{2} B \frac{d}{dx} (-\dot{x}y) = -\frac{Q}{2} B\dot{y}$$

$$\frac{d}{dx} \frac{Q}{2} Bx\dot{y} = \frac{Q}{2} B \frac{d}{dx} x\dot{y} = \frac{Q}{2} B\dot{y}$$

$$\frac{d}{dt} \left( m\dot{x} - \frac{Q}{2} B\dot{y} \right) - \frac{Q}{2} B\dot{y} = 0$$

$$\frac{d}{dy} \frac{1}{2} m \dot{y}^2 = \frac{1}{2} m \frac{d}{dy} \dot{y}^2 = \frac{1}{2} 2m\dot{y} = m\dot{y}$$

$$\frac{d}{dy} \frac{Q}{2} B(x\dot{y}) = \frac{Q}{2} B \frac{d}{dy} (x\dot{y}) = \frac{Q}{2} Bx$$

$$\frac{d}{dy} \frac{Q}{2} B(-y\dot{x}) = \frac{Q}{2} B \frac{d}{dy} (-y\dot{x}) = -\frac{Q}{2} B\dot{x}$$

$$\frac{d}{dt} \left( m\dot{y} + \frac{Q}{2} Bx \right) + \frac{Q}{2} B\dot{x} = 0$$

$$\frac{d}{dz} \frac{1}{2} m \dot{z}^2 = \frac{1}{2} \frac{d}{dz} m \dot{z}^2 = \frac{1}{2} 2m\dot{z} = m\dot{z}$$

$$m\dot{z} = 0$$

$$m\ddot{z} = 0$$

$$\ddot{z} = 0$$

Now we implement the second derivative and we will be to get the Lagrange equations:

$$m\ddot{x} - \frac{Q}{2} B\dot{y} - \frac{Q}{2} B\dot{y} = 0$$

$$m\ddot{x} - QB\dot{y} = 0$$

$$m\ddot{y} + \frac{Q}{2} B\dot{x} + \frac{Q}{2} B\dot{x} = 0$$

$$m\ddot{y} + QB\dot{x} = 0$$

$$m\ddot{z} = 0$$

## 2. Solution of Lagrange Equations (see P.Zaskodny, 2006, 2009)

We will be gradually to formulate  $\ddot{x}$ ,  $\ddot{y}$ ,  $\ddot{z}$  from the equations and we will be to use the constant  $\ddot{x}$ ,  $\ddot{y}$ ,  $\ddot{z}$  :

$$\ddot{x} = \frac{QB}{m} \dot{y}$$

$$\ddot{x} = \omega \dot{y}$$

$$\ddot{y} = -\frac{QB}{m} \dot{x}$$

$$\ddot{y} = -\omega \dot{x}$$

The outcome is the shape of movement equations:

$$\ddot{x} = \omega \dot{y}$$

$$\ddot{y} = -\omega \dot{x}$$

$$\ddot{z} = 0$$

We will be to multiple the equation  $\ddot{y} = -\omega \dot{x}$  by imaginary unit  $i$  for easier numeration:

$$i\ddot{y} = -i\omega \dot{x}$$

We will be to tot up the equations  $\ddot{y} = -i\omega \dot{x}$  and  $\ddot{x} = \omega \dot{y}$  :

$$\ddot{x} + i\ddot{y} = \omega\dot{y} - i\omega\dot{x}$$

$$\ddot{x} + i\ddot{y} = \omega(\dot{y} - i\dot{x})$$

The fraction will be to extend by imaginary unit:

$$\ddot{x} + i\ddot{y} = \frac{\omega}{i}(\dot{x} - i\dot{y})$$

We will be to establish the relation  $\alpha = x + iy$ :

$\ddot{\alpha} = -i\omega\dot{\alpha}$  and the equation will be prepared for integration:

$$\frac{d\dot{\alpha}}{\dot{\alpha}} = -i\omega dt$$

$$\ln \dot{\alpha} = -i\omega t + \ln C$$

We will be to apply the inverse function  $e^{\ln \alpha} = e^{\ln C} e^{\ln -i\omega t}$  with result  $\dot{\alpha} = Ce^{-i\omega t}$  and we use the initial conditions:

$$\dot{\alpha} = 0 + iv_0$$

$$\ln iv_0 = 0 + \ln C$$

$$\ln C = iv_0 \rightarrow C = iv_0$$

Now we will be to apply Euler's relation:

$$\exp(-ik) = \cos k - i \sin k$$

$$e^{-i\omega t} = \cos \omega t - i \sin \omega t$$

$$\dot{x} + i\dot{y} = iv_0(\cos \omega t - i \sin \omega t)$$

$$\dot{x} + i\dot{y} = iv_0 \sin \omega t + iv_0 \cos \omega t$$

$$\dot{x} = v_0 \sin \omega t$$

$$\dot{y} = v_0 \cos \omega t$$

We use MacLaurin's and Taylor's expansion for the proof of Euler's relation:

$$e^x = 1 + \frac{x^1}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots$$

$$\cos x - i \sin x = \exp(-ix)$$

We will be to integrate right and left side:

$$x = -\frac{v_0}{\omega} \cos \omega t + C_1$$

$$y = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t + C_2$$

We will be to discover the constants C1 and C2 according to the initial conditions:

$$0 = -\frac{v_0}{\omega} \cos 0 + C_1 \rightarrow C_1 = \frac{v_0}{\omega}$$

$$0 = \frac{v_0}{\omega} 0 + C_2 \rightarrow C_2 = 0$$

$$x = -\frac{v_0}{\omega} \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega}$$

$$y = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t$$

The result of Lagrange equations solution can be described with the help of motion vector:



$$\vec{r} = \left(-\frac{v_0}{\omega} \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega}\right)\vec{i} + \left(\frac{v_0}{\omega} \sin \omega t\right)\vec{j} + 0\vec{k}$$

### 3. Interpretation of Solution

(see P.Zaskodny, 2006, 2009)

The result is given by the circle (the shape of cyclotron) with usual equation

$$(x-m)^2 + (y+n)^2 = r^2$$

The centre of cyclotron

$S\left[0, \frac{v_0}{\omega}\right]$  and the radius of cyclotron

$r = \frac{v_0}{\omega}$  are leading to the equation

$$\left(x - \frac{v_0}{\omega}\right)^2 + y^2 = \frac{v_0^2}{\omega^2} (\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t)$$

$$\left(x - \frac{v_0}{\omega}\right)^2 + y^2 = \frac{v_0^2}{\omega^2}$$

The resonance frequency of the circulation of this circle is  $\omega = \frac{QB}{m}$  and

$v = \frac{QB}{2\pi m}$ . This frequency must be realized for the correct function of a cyclotron.

## How to Explain Physics Base of Cyclotron for Radiology Students Part II

### Student work

Barbora Vesela, University of South Bohemia, Ceske Budejovice, Czech Republic

Email: madonaathena@seznam.cz

## Conclusion

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

### II. REFERENCES

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

Zaskodny,P. (2006). Survey of Principles of Theoretical Physics (with application to radiology). Luzern, Switzerland: Avenira. ISBN 80-902491-9-1

Zaskodny,P. (2009). Kurikulární proces fyziky. Luzern, Switzerland: Avenira. ISBN 978-80-902491-0-3.

**Key words:** Intended Curriculum, Projected Curriculum, Implement Curriculum-2, Lagrangian Formalism, Lagrange equations, Euler's relation, MacLaurin's and Taylor's expansion, the resonance condition of a cyclotron

**Abstract:**

The forms of curriculum, which will process in this text, are Intended Curriculum, Projected Curriculum, Implement Curriculum-2. Intended Curriculum includes my educational text from my first text with name "How to Explain Physics Base of Cyclotron for Radiology Students" reworked in relation to the abilities of addressees, i.e. students of University of South Bohemia in Czech Republic, students of radiology. Projected Curriculum includes methods of a lecture. I tried Projected Curriculum as experimental lecture of students of University of South Bohemia. Implement Curriculum-2 includes test for these students.

---

**III. 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” (see Prucha, 2005)
- 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)** The way of knowledge and transformation of this knowledge is not easy process. Questions come into existence as „How create scientific system of physics to communicable?“ or „How create study materials?“, „How transfer knowledges to students?“ and „How transfer knowledges to communicable?“ I tried create communicable scientific text and I had a think about these questions.

## **1. Educational Text : Intended and Projected Curriculum**

The result of the synthesis of Intended Curriculum and Projected Curriculum is next text with own visual

documentation and taken over visual dokumentation too. This text was presented to students of University of South Bohemia in Czech language. This educational text was successful and fulfilled the educational function because students understand the issue.

### **„ The Physics Base of Cyclotron for Radiology Students.“**

Physics in the thirties of the 20th century knew the proton, electron, neutron, positron, neutrino and meson and explained with these particles the structure of the atoms. These particles were called „elementary“. This means that they have been considered as the basic building blocks of atoms that do not consist of many smaller particles. Over time were found other particles, including collisions of protons, electrons and other particles accelerated to high energies in accelerators. It is also recognized that the elementary particles are considered to decay into other particles. Born in the question: "Which of them are actually elementary thus?" Nowadays we know

about 280 particles, fundamental (basic) are particles with no internal structure, but even if they are composed of smaller particles, collisions can transform into other particles. Elementary particles are then other microparticles (proton, electron, deuteron,  $\alpha$  particles).

Accelerated microparticles in accelerators collide friendly beam of particles which are precipitated, and collide with the hard target. When these collisions occur other particles that are detected detectors. This way we can find and study new particles. The principle of the accelerator can be simply described as the microparticles with an electric charge  $Q$  flies between locations with a potential difference  $U$  and thus increases its kinetic energy by  $QU$ . To obtain high energy particles, we let the particle fly through this place many times.

Accelerators are classified according to the particle trajectory. We have linear accelerators with the trajectory as a straight line and circular accelerators with the trajectory as a spiral or a circle. Among circular accelerators such as the cyclotron.

Cyclotron (ie cyclic high-frequency accelerator) is used for acceleration of heavy charged particles using a high frequency electric field. Unlike linear accelerators are not as robust, but are likely to be more complicated construction. Accelerator has three main parts: the electromagnet (very strong), the accelerating chamber “duants” (ie, pairs of hollow accelerating electrodes), a source of high frequency.

Particles are moving inside hollow accelerating electrodes with its inertia track is curving magnetic field oriented perpendicular to the tracks. Hollow electrode acts as a Faraday cage. It is mean that the trajectory of particles inside of electrodes doesn't influence electric field but only magnetic field. Acceleration takes place only in the space between hollow electrodes. They are powered by alternating high-frequency current appropriate frequencies. The electric field between electrodes always works in such a way to increase the speed of particles. The kinetic energy of the accelerated particles after many orbits can reach up to 50 MeV.

In the cyclotron magnetic field is used only for keeping beam of particles, but not used for the acceleration. The field is oriented perpendicular to the trajectory of particles. The field causes folding trajectory into a circle, and as the particle velocity increases, the radius of the trajectory (circle) increases, it means that the particles move in a spiral trajectory. Transit time individual loops spiral but constant.

Cyclotron frequency (f) is based on size of electrically charged particles (Q), size of magnetic induction (B) and mass of particle (m):  $f = QB/2\pi m$ .

Simply we can describe the principle of a cyclotron, so that the particles move between the poles of the large magnet, and the magnetic field is maintained in a circular trajectory. Microparticles are accelerated by the electric field between the semicircular electrodes („duants“) to which is connected a high voltage. Constant frequency is chosen so that the voltage polarity is changed over time, which requires particles to flown semicircular trajectory from one slot to another, and because the velocity of the

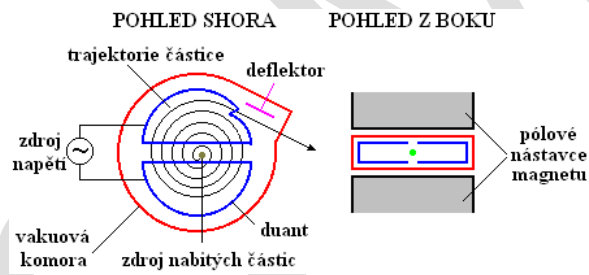
particle increases, the trajectory is a spiral.

Cyclotron is used in radiotherapy to manufacture artificial radioisotopes and to the accelerating of particles with subsequent use of radiation to treat radiation and malignant tumors, it is used for manufacturing of neutron radiation. It is also used for the production of radioisotopes in nuclear medicine.

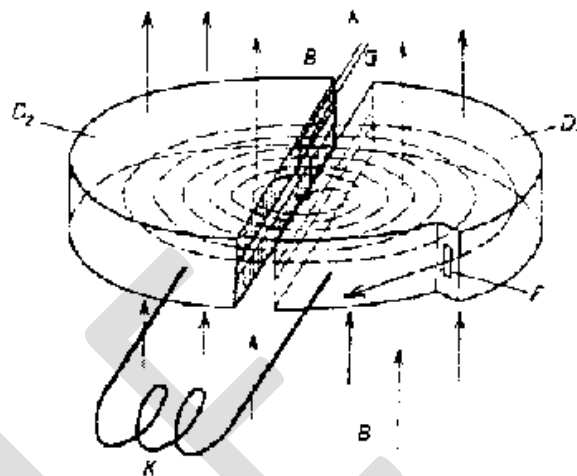
For clarity, I add a few diagrams - pictures cyclotron:

taken from:

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/859-cyklotron>

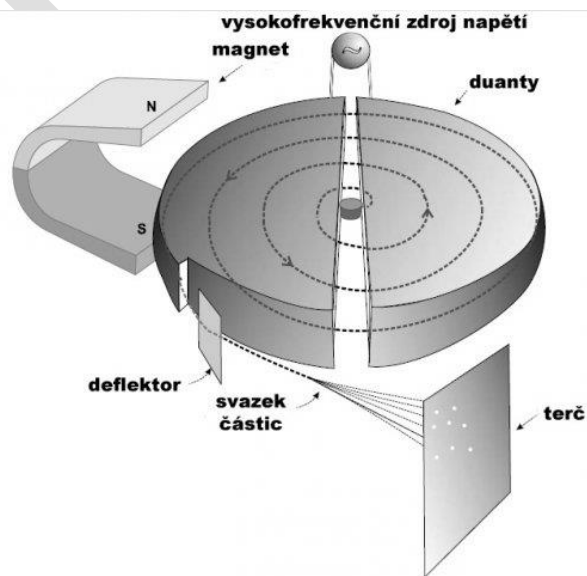


taken from: <http://www.fkg-wuerzburg.de/schule/faecher/physik/lk/referate/r12/zyklotr.php>



taken from: <http://www.pet-spect.fbmi.cvut.cz/pet/index.php/Fotogalerie>

rie



This text also deals with the physical principles of the cyclotron and the aim is

to find an equation that describes the motion of particles in a cyclotron.

Now it is important to clarify concepts and terms used in this text even before we begin to solve this issue:

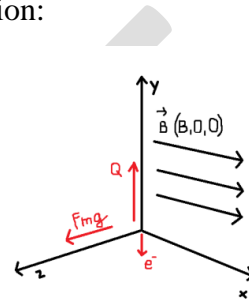
Magnetic induction  $B$  is a vector physical quantity and it describes the magnetic field and expresses strength effects of magnetic field on a moving electric charges.

Electric charge is used in two senses. Firstly can express it the state of electrically charged particles or bodies which have electric charge, this charge can be transferred from one body to another. We can briefly say "charge". Second means "electric charge" physical quantity that characterizes the degree of state electrically charged particles or bodies and because it is a quantity, has its units called coulombs C (1 C = 1 A. St. SI).

We consider an electron in a uniform magnetic field with initial conditions  $\vec{B}(0,0,B)$ ,  $\vec{v}_0(0,v_0,0)$ ,  $\vec{r}_0(0,0,0)$ .

We use Fleming's left hand rule, which tells us that the charge operates in

axis  $y$  and  $Fmg$  operates in the axis  $z$ , it valid for electron in the opposite direction than the charge. The following sketch I typified the situation:



The formula of magnetic force  $\vec{F}mg = Q(\vec{v} \times \vec{B})$  will apply for electron:  $\vec{F}_m = -e(\vec{v} \times \vec{B})$ ,  $\vec{F}_m = e(\vec{B} \times \vec{v})$ .

After substituting  $\vec{B}(B_x, B_y, B_z)$ ,  $\vec{v}(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$ :  
 $\vec{F}_m = e(B_y \dot{z} - B_z \dot{y}, B_z \dot{x} - B_x \dot{z}, B_x \dot{y} - B_y \dot{x})$ ,  
 $\vec{F}_m = e(0, -B \dot{z}, -B \dot{y})$ , we express the components of the equations of motion:

$$\begin{aligned} 0 &= m\ddot{x} \\ -eB\dot{z} &= m\ddot{y} \\ eB\dot{y} &= m\ddot{z} \\ m^2(\ddot{x}^2 + \ddot{z}^2) &= e^2B^2(\dot{y}^2 + \dot{z}^2) \end{aligned}$$

The equation can raise and sum but there will not happen nothing in axis  $x$ , so we will not count with this axis:

$$m^2 (\ddot{y}^2 + \ddot{z}^2)$$

$m^2 (\ddot{y}^2 + \ddot{z}^2) = e^2 B^2 (\dot{y}^2 + \dot{z}^2)$  and  $(\ddot{x}^2 + \ddot{z}^2)$  presents acceleration,  $(\dot{y}^2 + \dot{z}^2)$  presents

speed,  $m^2 r^2 \omega^4 = e^2 B^2 v^2$ ,  $r\omega = v$ ,  $r\omega^2 = \frac{v^4}{r^2}$ ,

and  $v^2$  represents the speed of the

electron flies into in,  $m^2 \frac{v^4}{r^2} = e^2 B^2 v \Rightarrow r$

We calculate the radius using the

formula  $F = \frac{mv^2}{r}$ ,  $F_m^2 = m^2 a_n^2$ ,

and  $a_n^2$  is centripetal acceleration:

$$\frac{mv_0^2}{r} = eBv_0$$

and we gain this form:

$$m^2 a_n^2 = e^2 B^2 v_0^2 \text{ i.e. } ma_n = eBv_0$$

$$\frac{mv_0^2}{r} = eBv_0 \text{ and we express } r:$$

$$r = \frac{mv_0}{eB}$$

Maybe it would be good to explain centripetal acceleration:

Centripetal force caused by motion of a body along a curve such as a circle, which is directed to the center of the circle. This force is causing centripetal acceleration.

According to the second Newton's law, the following relations:

$$\vec{F}_d = m\vec{a}_d, a_d = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

If the electron was thrown with angles other than  $90^\circ$ , it would be a litter with oblique angle  $\alpha$ :

$$v_0 (v_0 \cos \alpha, v_0 \sin \alpha, 0)$$

$$m^2 a_n^2 = e^2 B^2 v_0^2 \sin^2 \alpha \text{ tedy}$$

$$ma_n = eBv_0 \sin \alpha, r = \frac{mv_0 \sin \alpha}{eB}$$

We itemize into individual components  $x, y, z$ :

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

$$y = r \sin \omega \cdot t$$

$$z = r \cos \omega \cdot t$$

$$v = \omega r$$

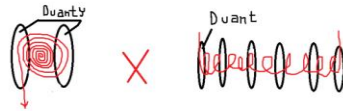
$$a_n = \omega^2 r$$

$$\omega = \frac{v_0 \sin \alpha}{r}$$

It would be a spiral, rather than a circle, and such particles has an



unsuitable trajectory. I tried to sketch how the situation would look like:



## 2. Implemented Curriculum-2: Test - Survey of Requirements for Students

After my lecture and the study of students at home my test was presented to students but this test was reworked in relation to the abilities of addressees too. The test looked as follows:

### Test

- 1) What is the difference between linear accelerator and circular accelerator?
  - a. Linear accelerator has a trajectory as a circle, circular accelerator has a trajectory as a line.
  - b. Linear accelerator has a trajectory as a line, circular accelerator has a trajectory as a circle or a spiral but the cyclotron is not circular accelerator.
  - c. Linear accelerator has a trajectory as a line, circular accelerator has a trajectory as a circle or a spiral and the cyclotron is circular accelerator.
- 2) What kind of accelerator is cyclotron?
  - a. Linear accelerator.
  - b. Cyclic high-frequency accelerator.
  - c. It may be circle and linear accelerator too.
- 3) Explain the concept of „stationary magnetic field “.
  - a. Stationary magnetic field is the magnetic field, that do not change over time, quantities characterizing the field are constant.
  - b. Stationary magnetic field is the magnetic field, that do not change over time, quantities characterizing the field are not constant.
  - c. Stationary magnetic field is the magnetic field, that do change over time,

- quantities characterizing the field are not constant.
- 4) What are „duants“?
    - a. Duants are couples of hollow acceleration electrodes.
    - b. It is particle accelerated in the accelerator.
    - c. Duants are not component of accelerator.
  - 5) Explain the concept of „fundamental particles“.
    - a. Fundamental particles can not transfer to other particles.
    - b. Fundamental particles are elementary particles.
    - c. Fundamental particles are particles without internal structure but particles can transfer to other particles during the collisions.
  - 6) Why is the trajectory of particles in cyclotron as a spiral?
    - a. Speed of particles decreases.
    - b. Speed of particles do not change.
    - c. Speed of particles increases.
  - 7) What determines the frequency of cyclotron?
    - a. The frequency does not depend on no other quantity.
  - b. Cyclotron frequency ( $f$ ) is based on size of electrically charged particles ( $Q$ ), size of magnetic induction ( $B$ ) and mass of particle ( $m$ ):  $f = QB/2\pi m$ .
  - c. The frequency does depend only on size of electrically charged particles ( $Q$ ).
  - 8) How is significant magnetic field for cyclotron?
    - a. Magnetic field curves the trajectory of particles as a circle.
    - b. It accelerates particles.
    - c. Magnetic field is not significant fo cyclotron.
  - 9) Why we use Fleming’s rule of left arm?
    - a. We use Fleming’s rule to determine the direction of gravitational force.
    - b. We use it to determine the direction of induction lines.
    - c. We use it to determine the direction of magnetic force.
  - 10) How is significant electric field for cyclotron?
    - a. Electric field curves the trajectory of particles.
    - b. It accelerates particles.

- c. Electric field is not significant for cyclotron.
- 11) Where we use cyclotron in the medicine?
- There is cyclotron uses to radiation and treatment of malignant tumors in the radiotherapy.
  - There is cyclotron uses not in the medicine.
  - There is cyclotron uses in all areas of the medicine.
- 12) How 3 main parts has cyclotron?
- Waveguide, cavity resonator, acceleration chamber.
  - Acceleration chamber, electromagnet, modulator.
  - Electromagnet, acceleration chamber, a source of high frequency.
- 13) Where accelerated particles move in cyclotron?
- There is the movement of particles inside of electrodes.
  - There is the movement of particles above the electrodes.
  - There is the movement of particles under electrodes.
- 14) What powers electrodes?
- Electrodes are not powered.
  - Electrodes are powered by high-frequency alternating current.
  - Electrodes are powered by low-frequency direct current.
- 15) Where exactly is the acceleration of particles in a cyclotron?
- The gap between electrodes.
  - Inside of electrodes.
  - Throughout the cyclotron.
- 16) The formula for centripetal force is:
- $\vec{F}_d = m \cdot \vec{a}_d$  according to the second Newton's law for a body moving in a circle then apply
  - $\vec{F}_d = m \cdot \omega^2 r$
  - $\vec{F}_d = r \cdot \vec{a}_d^2$
- 17) In the area of circular accelerators is centripetal force expressed:
- $F = Q \cdot v \cdot B$
  - $F = Q \cdot B$
  - $F = B \cdot v$
- 18) In the area of circular accelerators equation has the form:

- a.  $\vec{F}_{el} = m\vec{r}''$
- b.  $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$
- c.  $\vec{F}_{mg} = m\vec{i}''$

19) The radius of circular accelerators can be calculated according to the formula:

- a.  $r = mv^2QB$
- b.  $QvB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv^2}{QvB}$
- c.  $r = v^2Bm$

20) For a given type of particle velocity depends on the particle:

- a. Q
- b. v
- c. B

## Conclusion

There were processed several species of forms of curriculum in this text: Intended Curriculum, Projected Curriculum, Implement Curriculum-2. Intended Curriculum and Projected Curriculum were joined in educational text for students. Implement Curriculum-2 was processed as test for students.

I warn you that conclusions of Implement Curriculum-2 about achieved results will be the subject of my next text-

now a summary of the requirements for students is only published.

## References

Zaskodny,P. (2009). Kurikulární proces fyziky. Luzern, Switzerland: Avenir  
ISBN 978-80-902491-0-3.

OEDM-SER'11, The 1st  
International e-Conference on  
Optimization, Education and Data  
Mining in Science, Engineering and  
Risk Management, PROCEEDINGS,  
Praha: Curriculum 2011. Organized by  
Curriculum Studies Research Group  
CSRG, Slovakia department of  
Psychology and Applied Social  
Sciences University of Ostrava. ISBN  
978-80-904948.

SAMPLE