

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta

## **Možnosti využití měřících přístrojů v laboratoři ZSF**

**JU**

bakalářská práce

Autor práce: Mgr. Veronika Ondrová  
Studijní program: Ochrana obyvatelstva  
Studijní obor: Ochrana obyvatelstva se zaměřením na CBRNE  
  
Vedoucí práce: Mgr. Jiří Havránek

Datum odevzdání práce: 14. 8. 2012

## **Abstrakt**

Bakalářská práce s názvem Možnosti využití měřících přístrojů v laboratoři ZSF JU je zaměřena na výukovou laboratoř osobní dozimetrie.

V úvodu je rozebrána problematika dozimetrie – druhy ionizujícího záření, úkoly a cíle dozimetrie. Spolupráce dozimetrie s ostatními vědními obory a v neposlední řadě také základní veličiny a jednotky, které jsou používány v dozimetrii a radiační ochraně.

Hlavním cílem bylo vypracovat ucelený přehled přístrojů a přístrojové techniky v laboratoři osobní dozimetrie a specifikovat jejich měřicí charakteristiky.

Následující kapitoly popisují jednotlivé přístroje laboratoře osobní dozimetrie – jejich obecný popis, základní části, nastavení, ovládání, postupy při měření a použití zařízení ve výuce.

## **Abstract**

Bachelor thesis entitled Possibilities of measuring instruments in the laboratory ZSF JU is aimed at teaching personal dosimetry laboratory.

In the introduction the problem of dosimetry - the types of ionizing radiation dosimetry tasks and objectives. Cooperation with other dosimetry disciplines and last but not least, the basic quantities and units that are used in dosimetry and radiation protection.

The main objective was to develop a comprehensive overview of equipment and instrumentation in the laboratory personal dosimetry measurement and specify their characteristics.

The following sections describe each personal dosimetry laboratory instruments - their general description, basic parts, setup, control, measurement procedures and equipment use in teaching.

## **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 14. 8. 2012

Veronika Ondrová

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu práce panu Mgr. Jiřímu Havránkovi za čas, věcné rady a odborné vedení při zpracování bakalářské práce. Dále děkuji panu Ing. Janu Singrovi CSc za ochotu a poskytnutí informací o přístrojovém vybavení v laboratoři.

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>8</b>
1.1 Charakteristika dozimetrie .....	9
1.2 Druhy ionizujícího záření .....	10
1.3 Spolupráce dozimetrie s ostatními vědními obory .....	11
1.4 Úkoly dozimetrie .....	12
1.5 Cíle dozimetrie .....	13
1.6 Základní veličiny, jednotky a pojmy používané v dozimetrii .....	16
1.6.1 Veličiny charakterizující zdroje ionizujícího záření .....	17
1.6.2 Veličiny charakterizující pole ionizujícího záření .....	19
1.6.3 Veličiny charakterizující působení ionizujícího záření na látku.....	20
1.6.4 Veličiny používané v radiační ochraně .....	21
1.7 Detekce a spektrometrie ionizujícího záření .....	23
1.7.1 Druhy detektorů, detekce záření .....	23
<b>2. Cíle a hypotézy .....</b>	<b>26</b>
<b>3. Metodika .....</b>	<b>27</b>
3.1 Zařízení na vyhodnocení termoluminiscenčních dozimetrů .....	29
3.1.1 Obecný popis zařízení .....	29
3.1.2 Základní části čtečky .....	30
3.1.3 Fyzikální specifikace přístroje .....	31
3.1.4 Software WinRems .....	31
3.1.5 Dozimetry .....	32
3.1.6 Specifikace výkonu přístroje .....	32
3.1.7 Ovládání zařízení .....	32
3.1.7.1 Manipulace s dozimetry .....	33
3.1.7.2 Základní nastavení a ovládání .....	33
3.1.8 Použití zařízení ve výuce .....	35
3.2 Elektronický osobní dozimetr .....	36

3.2.1 Popis dozimetru .....	36
3.2.2 Popis čtečky .....	37
3.2.3 Ovládání dozimetru .....	37
3.2.4 Software Dosimass .....	38
3.2.5 Charakteristika dozimetru .....	38
3.2.6 Použití ve výuce .....	40
3.3 Měřič dávkového příkonu .....	40
3.3.1 Popis činnosti přístroje .....	40
3.3.2 Ovládací prvky na vyhodnocovací jednotce NZZ 302 .....	41
3.3.3 Charakteristika měřiče .....	41
3.3.4 Použití zařízení ve výuce .....	42
3.4 Scintilační spektrometr .....	43
3.4.1 Princip spektrometrie .....	43
3.4.2 Charakteristika přístroje .....	44
3.4.3 Popis spektrometru .....	44
3.4.4 Postup při měření .....	45
3.4.5 Postup vyhodnocení spektra .....	46
3.4.6 Použití zařízení ve výuce .....	47
3.5 Polovodičový spektrometr gama .....	47
3.5.1 Polovodičové detektory .....	47
3.5.2 Charakteristika přístroje .....	48
3.6 Studňový spektrometr .....	49
3.6.1 Scintilační studňový detektor .....	49
3.6.2 Popis spektrometru .....	50
3.6.3 Postup měření .....	50
3.6.4 Použití zařízení ve výuce .....	51
3.7 Nízkopozadový měřič alfa – beta .....	52
<b>4. Diskuse .....</b>	<b>54</b>
<b>5. Závěr .....</b>	<b>61</b>
<b>6. Použitá literatura.....</b>	<b>63</b>

## 1. Úvod

Zdravotně sociální fakulta Jihočeské univerzity zřídila ve svých budovách pro potřeby studentů několik laboratoří. Bakalářská práce je zaměřena na laboratoř osobní dozimetrie, na její přístrojové vybavení. Laboratoř využívají jak studenti prezenční, tak kombinované formy studia studující na katedře radiologie a toxikologie v akreditovaných oborech bakalářského studia – "Radiologický asistent" a "Ochrana obyvatelstva se zaměřením na CBRNE" a v navazujícím magisterském studiu v oboru "Civilní nouzová připravenost". V těchto oborech se vyučují předměty jako "Základy dozimetrie ionizujícího záření", "Radiační ochrana", "Praktikum z měření v dozimetrii" apod., které se týkají radiační fyziky, radiační ochrany, dozimetrie, klinické dozimetrie atd. Tyto předměty slouží studentům k seznámení se s přístroji a měřicími zařízeními týkající se také osobní dozimetrie pracovníků s ionizujícím zářením i obyvatelstva a to jak pro monitorování vnitřní kontaminace, tak i zevního ozáření. Laboratoř je tedy vybavena přístroji pro měření dávek, aktivit, dávkových příkonů. Jedná se o elektronické a termoluminiscenční dozimetry s jejich čtečkami, měřiče dávkových příkonů a aktivit beta – alfa a spektrometr pro stanovení dávek zářičů gama. Studenti ověřují funkčnost a parametry každého přístroje. Někteří studenti využívají laboratoř a její přístroje pro tvorbu svých bakalářských a diplomových prací.



Jelikož se jedná o laboratoř osobní dozimetrie, následující kapitoly jsou věnovány dozimetrii.

### **1.1. Charakteristika dozimetrie**

Dozimetrie ionizujícího záření. Základy této vědy v sobě skrývají mnoho usilovné práce fyziků experimentátorů z konce minulého a začátku tohoto století [9].

Náplň dozimetrie lze do značné míry odvodit z jejího samotného názvu. Původ slova dozimetrie (anglicky dosimetry, německy Dosimetrie, rusky dozimetrija) pochází z řečtiny, kde "dosis" znamená část, porci, příjem a také dávku, zatímco "metreo" bychom mohli přeložit jako měřím nebo určuji [6].

Překvapující je, kolik druhů záření se nachází v prostředí, ve kterém se člověk denně pohybuje. Jsou známy druhy existující od nepaměti, jiné jsou způsobeny člověkem v důsledku civilizačního procesu ve společnosti. Člověk svými smysly registruje pouze některé, např. světlo a teplo. Většina jich zůstává člověku skryta a o jejich existenci se dovídá jen pomocí detekčních zařízení ať již z hlediska kvality nebo kvantity. Je všude kolem nás. Dnes známe celou řadu různých druhů záření, experimentálně i teoreticky prozkoumaných. Také ionizující záření je všude kolem nás, v prostředí ve kterém žijeme a pracujeme. Název "ionizující" dostalo podle jeho vnějších projevů, a to podle schopnosti ionizovat prostředí, kterým prochází. V současné době se slovo "dozimetrie" spojuje téměř výhradně s ionizujícím zářením [9].

Dozimetrii lze tedy stručně charakterizovat jako nauka o měření, výzkumu a teoretických výpočtech resp. modelování takových parametrů ionizujícího záření, včetně různorodých projevů jeho interakcí s látkou, na nichž závisí radiační účinky v živých i neživých objektech [6].

## 1.2 Druhy ionizujícího záření

Ionizující záření se vyskytuje trvale v prostoru, ve kterém se pohybujeme, protože je emitováno povrchem Země, z okolních předmětů, přichází z atmosféry a z kosmického prostoru. Původ těchto zdrojů ionizujícího záření je různý. Některé zdroje existují nezávisle na lidské činnosti, jiné jsou způsobovány rozvíjejícími se oblastmi vědy a techniky.

Název ionizující záření zahrnuje jak záření korpuskulární, rentgenové, tak i záření gama. Podle primárních účinků se dělí na přímo ionizující a nepřímo ionizující záření.

Přímo ionizující záření je tvořeno nabitými částicemi, tj. elektrony, pozitrony, protony, částice alfa atd., které mají dostatečnou kinetickou energii, aby mohly vyvolat ionizaci prostředí, kterým procházejí. Nepřímo ionizující záření tvoří nenabitě částice, např. fotony a neutrony. Nenabitě částice samy neionizují, ale při své interakci s látkou uvolňují sekundární, přímo ionizující částice. Ionizace látky je způsobena těmito sekundárními částicemi [9].

Někdy dochází k záměně názvu "ionizující záření" s názvem "radioaktivní záření". Ionizující záření je název obecnější, protože zahrnuje všechny druhy ionizujícího záření, bez ohledu na jeho původ, tedy i záření získávané pomocí urychlovačů částic. Pojem radioaktivní záření je spojeno pouze s ionizujícím zářením, které je emitováno z radioaktivních nuklidů. Dnes známe velký počet radionuklidů a dělíme je na dvě základní skupiny, přirozené radionuklidy a umělé radionuklidy [9].

Přirozené radionuklidy jsou součástí látek, ze kterých je složena Země a nelze je odstranit, či jejich působení zastavit. Ionizující záření emitované z přirozených radionuklidů působí na člověka po celou historii jeho vývoje. Ozáření člověka vlivem přirozených radionuklidů však není všude stejné, liší se podle místa na zemské kouli, kde člověk žije.

Umělé radionuklidy jsou ty, které člověk vyrobil uměle. Jejich získávání úzce souvisí s rozvojem experimentální jaderné fyziky a techniky, tj. s vývojem a konstrukcí různých druhů urychlovačů částic a rozvojem jaderných reaktorů. Jejich významnější rozmach se datuje do konce druhé světové války [9].

Počáteční vývoj dozimetrie byl tedy determinován nutností zajištění ochrany člověka před škodlivými účinky záření X, generovaného rentgenovými trubnicemi, a záření gama od v té době známých přírodních radionuklidů, především pak rádia. S rozvojem atomové a jaderné fyziky a jejich mnohostranných aplikací se také náplň dozimetrie postupně rozšiřovala. Zahrnovala nejenom další druhy záření a měřitelný rozsah a přesnost stanovení příslušných veličin, ale také zpřesňovala interpretaci výsledků měření ve smyslu ocenění biologických účinků [6].

### **1.3 Spolupráce dozimetrie s ostatními vědní obory**

Dozimetrie je v současné době součástí jaderné a subjaderné fyziky, přičemž svou povahou je úzce spojena s dalšími vědními obory, zejména radiační fyzikou, radiační chemií, hygienou záření, jadernou energetikou, radioaktivitou životního prostředí, jakož i četnými aplikacemi ionizujícího záření a radionuklidů ve vědě, výzkumu, medicíně, biologii, zemědělství, průmyslu a technice vůbec [6].

Dnes si již nedovedeme představit činnost člověka bez cílevědomého využívání ionizujícího záření radionuklidů a jaderné energie. Neexistuje prakticky žádná oblast lidské činnosti, kde se neuplatňují. Pomocí tohoto záření se řídí části automatických technologických linek, řeší se řada problémů v chemii, radiačně chemickými procesy se získávají nové druhy materiálů, v biologii se dosahuje mutací a sledují se biologické pochody, kontroluje se kvalita výrobků, vytvořil se samotný obor nukleární medicína, rozvinula se radioterapie, a tak by bylo možné uvést ještě řadu dalších příkladů aplikací ionizujícího záření prospěšných pro lidstvo [9].

Dnes se věnuje také značná pozornost mikrodozimetrii, která představuje velmi důležitou součást dozimetrie. Jak známo, přenos energie na buněčné resp. subbuněčné úrovni probíhá relativně malými porcemi deponované energie a vyznačuje se diskrétním, stochastickým charakterem. Struktury, které jsou citlivé na počáteční stádium radiačních účinků, jsou charakterizovány mikroskopickými rozměry a náhodným rozložením neboli konfigurací. V takových podmínkách odezva na ozáření

není závislá ani tolik na celkové deponované energii, ale spíše na způsobu a distribuci předání energie jednotlivým citlivým strukturám daného objektu [6].

#### 1.4 Úkoly dozimetrie

Dozimetrie se v širším slova smyslu zabývá zejména následujícími úkoly:

1. Stanovení absorbované dávky v daném místě určité látky.
2. Stanovení energie předané nepřímo ionizujícím zářením (tj. fotony a neutrony)

vztažené na jednotku hmotnosti určité látky v daném místě. Taková veličina může posloužit i k popisu radiačního pole v uvažovaném prostředí nebo prostoru. Přitom referenční látkou může být buď látka skutečně přítomná v daném místě, nebo nějaká jiná vhodná látka, jako např. vzduch, voda, tkáň resp. tkáňově ekvivalentní látka [6].

3. Stanovení zdroje ionizujícího záření. Zdroje záření se mohou podle tvaru dělit na, lineární, plošné, bodové a objemové. Množství záření, které ze zdroje vystupuje (je emitováno) je dáno nejen uvedenými geometriemi, rozměry a hmotností, ale také parametry radionuklidů v tomto zdroji jako např. aktivita, poločas, typ a energie záření. Vzájemná interakce rozměrů a parametrů určuje, že jen část ionizujícího záření se může dostat do okolí a část se může absorbovat ve vlastním zdroji. Tehdy mluvíme o samoabsorpci ve zdroji. Při této samoabsorpci nemusí dojít jen ke snížení počtu částic alfa, beta nebo fotonů či neutronů, ale také může dojít ke změně typu, energie a směru tohoto záření. Jestliže se záření dostane ven ze zdroje, vytvoří se v jeho okolí pole ionizujícího záření [7].

4. Stanovení počtu částic (včetně jejich energetického případně i úhlového rozložení)

v daném místě. Používají se k tomu veličiny charakterizující pole záření [6].

Tvary a charakteristiky pole jsou důležité pro další objekty, které se vyskytují v tomto poli, ať už se jedná o vzduch nebo jiné subjekty interagující s ionizujícím zářením. Základní veličinou pole je emise (tok) částic nebo energie, což lze považovat za celkové množství částic nebo energie, které se dostane ze zdroje za jednotku času. Důležité jsou

taktéž parametry, které popisují rozložení pole záření v prostoru. Pokud uvažujeme všesměrovost záření, tak se pole vztahuje k infinitezimálnímu objemu kulového tvaru. Pak se definují takové veličiny, jako fluence, hustota toku, radiance apod. Pole se uvažují buď ve vakuu, nebo v reálném prostředí. V tomto případě dochází k interakci ionizujícího záření s hmotou [7].

5. Stanovení dávky ve tkáni (nebo v jiné vhodné referenční látce) a jejího rozložení ve standardním fantomu. V některých oborech, jako je například medicína nebo pro potřeby ochrany před ionizujícím zářením, se často požaduje informace o dávce, případně o dalších parametrech záření, vztažené na určitou část lidského těla [6].

6. Stanovení interakcí s hmotou. Interakce se mohou specifikovat jako celek, tj. bez ohledu na to, ke kterému procesu dochází, nebo pro jednotlivé typy interakce dané částice ionizujícího záření s daným materiálem samostatně. Interakci obecně definujeme jako pravděpodobnost jakékoliv reakce částice s hmotou. Interakce je tím silnější, čím větší je podíl pravděpodobnosti na jednu částici ionizujícího záření a na jednu částičku hmoty (tj. atom nebo jádro). Efekt tím silnější, čím větší je hustota částic záření, nebo hustota částiček hmoty, nebo obojí.

7. Stanovení interakcí s živou hmotou. Je to specifický případ interakce s hmotou a interferuje s oborem ochrany životního prostředí. Ještě specifičtější je interakce s lidským organizmem, jíž se zabývá osobní dozimetrie (především pro pracovníky se zdroji ionizujícího záření), nebo radiační kontrola okolí zdroje (zejména pro obyvatelstvo), anebo klinická dozimetrie (ochrana pacientů i zdravotnického personálu při lékařských použitích ionizujícího záření [7]).

8. Stanovení některých mikrodozimetrických veličin, které jsou potřebné k určení jakostního nebo váhového činitele záření, vztažené na určitou část lidského těla [6]

9. Stanovení vybraných veličin souvisejících s parametry a charakterem zdrojů záření. V těchto případech je důležité rozlišovat mezi uzavřenými a neuzavřenými (otevřenými) zdroji záření, které mohou vyvolat radioaktivní kontaminaci okolního prostředí. Hodnocení dopadu takové kontaminace na člověka se neobejde bez studia přítomnosti, šíření a pohybu sledovaných radionuklidů v životním prostředí a v potravinovém řetězci. Na základě znalosti o příjmech jednotlivých radionuklidů do

lidského organismu prostřednictvím inhalace a ingesce lze potom odhadnout příspěvek vnitřní kontaminace k celkovému ozáření člověka [6].

## 1.5 Cíle dozimetrie

Jeden z důležitých cílů dozimetrie spočívá právě v zabezpečení úkolů spojených s ochranou před zářením. Ochrana před zářením, tímto pojmem se rozumí rozsáhlý obor na pomezí fyziky, techniky, biologie a medicíny, jehož úkolem je ochránit jednotlivce, jejich potomky i lidstvo jako celek před škodlivými účinky ionizujícího záření. Přitom je důležité zachovat nezbytné nebo objektivně pro lidstvo přínosné činnosti, při nichž může k ozáření dojít. Je nutné nalézt taková opatření, při jejichž dodržování by nebyl brzděn technický rozvoj využívání ionizujícího záření a jaderných metod, ale současně nebyli účinky záření ohroženi ani pracovníci se zářením, ani ostatní obyvatelstvo [4].

Škodlivé účinky, proti kterým se ochrana zaměřuje, se mohou dělit na somatické - projeví se přímo na ozářeném jedinci, a genetické - postihují jeho potomstvo. Pohybujeme-li se v civilní praxi a neuvažujeme ochranu před zářením v případě válečného jaderného konfliktu, předpokládají se tak malé dávky ionizujícího záření, že jejich účinky mají stochastický, tj. náhodný charakter. Na dávce závisí pravděpodobnost, že nastane daný účinek, spíše než závažnost tohoto účinku. Pravděpodobnost účinku je přitom považována za bezprahovou funkci dávky. I ty nejnižší dávky přispívají ke zvýšení pravděpodobnosti vzniku poškození. Obecně lze tento charakter připisovat jak genetickým, tak i některým somatickým účinkům ionizujícího záření. Hlavním somatickým rizikem je přitom považována karcinogeneze[4].

Nestochastické (deterministické) účinky, jejichž závažnost roste s rostoucí dávkou, mají obecně práh, projevují se až od určitých dávek. Patří sem jak některé účinky specifické pro jednotlivé tkáně, jako např. zákal oční čočky, nemaligní poškození kůže, poškození zárodečných buněk pohlavních žláz vedoucích ke snížení plodnosti, či poškození buněk kostní dřeně způsobující útlum krvetvorby, tak i účinky projevující se

v cévách či pojivových tkáních ve většině orgánů těla. Těmto účinkům lze zabránit, bude-li ozáření udrženo na tak nízké hodnotě, aby ani za celý život daného jedince nebylo dosaženo žádné prahové dávky pro některý z nich [4].

Hlavním cílem radiační ochrany je zabránit vzniku škodlivých deterministických účinků a omezit pravděpodobnost výskytu stochastických účinků na úroveň, kterou lze považovat (vzhledem k ostatním rizikům) za přijatelnou [6].

Každá činnost vedoucí k ozáření musí být odůvodněná a její přínos pro společnost nebo pro jednotlivce byl maximální v poměru k ceně této činnosti (kde cenou se rozumějí nejen finanční náklady, ale především míra škodlivých účinků ionizujícího záření, vznikající jako její důsledek) [5].

Nejlepší ochrana je nevystavovat se zvýšenému poli ionizujícího záření. V praxi je to nereálné, je tedy nutné bránit se aktivně, tj. snížením toku ionizujícího záření a jeho energie přímo u zdroje (např. snížením aktivity radionuklidu, snížením napětí a proudu na rentgence apod.), nebo pasivně známými: časem, vzdáleností, stíněním. Tuto obranu lze podpořit výpočty nebo lepším měřením dávek a energií ionizujícího záření [7].

V r. 1925 se sešel první radiologický kongres, na kterém bylo rozhodnuto vytvořit mezinárodní komisi, jejíž náplní práce by bylo sledovat problematiku měření ionizujícího záření a standardizace v radiologii. Tak vznikla ICRU- International Commission on Radiological Units. Tato komise zastává významné postavení při vypracovávání mezinárodně přijatelných doporučení, a to nejen v oblasti návrhu veličin a jednotek ionizujícího záření, nýbrž i návrhu optimálních a jednotných metod měření ve všech oborech aplikace ionizujícího záření s cílem zajistit maximálně možnou vzájemnou srovnatelnost naměřených výsledků.

Pro potřeby ochrany před ionizujícím zářením a popisu účinků ionizujícího záření v látce byla analogicky vytvořena mezinárodní komise ICRP – International Commission on Radiological Protection, která vydává řadu doporučení praktického významu. Zejména se soustřeďuje na radiobiologické studie, systémy limitované dávky, dávkový ekvivalent apod. [9].

## 1.6 Základní veličiny, jednotky a pojmy používané v dozimetrii

Systém dozimetrických veličin je stanoven státní normou ČSN 01 1308 "Veličiny a jednotky v atomové a jaderné fyzice" s platností od 1.7.1987. Touto normou byla nahrazena zastaralá ČSN 01 1308 z r. 1967, systém veličin a jednotek byl uveden do souladu s doporučovanou mezinárodní praxí a v neposlední řadě i s dříve zavedenou revidovanou nadřazenou normou ČSN 01 1300 "Zákonné měrové jednotky".

Novelizací ČSN 01 1308 nedošlo ke změně souboru základních fyzikálních veličin užívaných v dozimetrii, ale pouze k jejich důslednému rozdělení na veličiny stochastické a nestochastické, a v souvislosti s tím se modifikují příslušné definice [4].

Dozimetrie ionizujícího záření se zabývá složitým procesem, počínajícím emisí ionizujícího záření ze zdroje a končícím jeho účinky na různé látky. Řada veličin je využita k podrobnému popisu zdrojů, polí záření i efektů, které jsou vyvolány v materiálech, kterými záření prochází. Charakteristickým rysem současné doby je snaha o důslednější přechod na mezinárodně přejetou soustavu jednotek SI (Système International d'Unités), která vede k náhradě většiny mimosoustavových jednotek používaných v dozimetrii i jaderné fyzice obecně jednotkami patřícími do této soustavy[8].

V mezinárodní soustavě jednotek SI se rozlišují tři třídy jednotek: *základní, odvozené* a *doplňkové* jednotky.

Soustava SI je přesně definována sedmi základními jednotkami, které jsou z rozměrového hlediska považovány za nezávislé: *metr, kilogram, sekunda, ampér, kelvin, mol* a *kandela*. Tyto jednotky odpovídají veličinám *délka, hmotnost, čas, elektrický proud, termodynamická teplota, látkové množství* a *svítivost*.

Druhá třída jednotek SI obsahuje odvozené jednotky. Lze je utvořit kombinováním základních jednotek podle vybraných algebraických vztahů spojujících odpovídající veličiny. Příslušné odvozené veličiny jsou definovány pomocí sedmi základních veličin, popřípadě jsou zavedeny na základě již užívaných jiných odvozených veličin.

Třetí třídou jednotek SI jsou jednotky doplňkové. Zahrnují radián a steradián pro veličiny rovinný úhel a prostorový úhel.



Jednotky používané v dozimetrii ionizujícího záření jsou z hlediska praktických potřeb zpravidla příliš velké (např. *grey* nebo *sievert*) nebo naopak, příliš malé (např. *beckerel*). Z těchto důvodů je výhodné použití příslušných předpon SI (ve sledu: činitel – předpona- značka :  $10^{18}$  exa - E,  $10^{15}$  peta - P,  $10^{12}$  tera - T,  $10^9$  giga - G,  $10^6$  mega - M,  $10^3$  kilo - k,  $10^{-3}$  mili - m,  $10^{-6}$  mikro -  $\mu$ ,  $10^{-9}$  nano - n,  $10^{-12}$  piko - p,  $10^{-15}$  femto - f,  $10^{-18}$  atto – a) [6].

Mimosoustavové jednotky dozimetrických veličin jako curie pro aktivitu, rentgen pro expozici či rad pro dávku byly nahrazeny důsledně jednotkami SI [5].

### 1.6.1 Veličiny charakterizující zdroje ionizujícího záření

Základní charakteristikou množství radionuklidu je jeho **aktivita A**. *Udává počet radioaktivních přeměn v radioaktivním materiálu, vztažený na jednotku času.* Je definována jako poměr

$$A = dN_p / dt$$

kde  $dN_p$  je počet samovolných radioaktivních přeměn v daném množství radioaktivní látky, ke kterému dochází za časový interval  $dt$ . Jednotkou aktivity v soustavě SI je tedy reciproká sekunda ( $s^{-1}$ ). Této jednotce aktivity byl dán speciální název *becquerel* (Bq). Ve starší literatuře se můžeme setkat s mimosoustavovou jednotkou aktivity curie (Ci), odvozenou z aktivity 1g  $^{226}\text{Ra}$ . Mezi oběma jednotkami platí převodní vztah  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .

Aktivita je charakteristikou radioaktivního zářiče jako celku. V řadě případů může být užitečnou i charakteristikou i aktivita vztažená na jednotkovou hmotnost zářiče, tzv. *měrná aktivita a*:

$$a = A / m$$

kde  $m$  je hmotnost daného množství radioaktivní látky o aktivitě  $A$ .

Objemové zdroje záření lze charakterizovat také *objemovou aktivitou* (nebo objemovou hustotou aktivity)  $a_v$ :

$$a_v = A / V$$

kde  $V$  je objem daného množství radioaktivní látky o aktivitě  $A$ .

Analogicky pro plošné zdroje se definuje *plošná aktivita*  $a_s$ , pro lineární zdroje *lineární aktivita*  $a_l$ , pro molární množství  $n$  určité látky *molová aktivita*  $a_m$ .

Je zřejmé, že tyto veličiny mají rozměr  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ ,  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-1}$ , resp.  $\text{Bq}\cdot\text{kmol}^{-1}$ .

Aktivita jako veličina udávající četnost radioaktivních přeměn nevypovídá sama o sobě bez znalosti přeměnového schématu daného radionuklidu nic o tom, kolik částic ionizujícího záření se ze zdroje emituje. Další nestochastickou veličinou popisující zdroje záření je proto **celkový tok částic**  $\phi_p$  (nebo též *emise zdroje*). Je to podíl počtu emitovaných částic  $dN$  a časového intervalu  $dt$ , ve kterém byly tyto částice ze zdroje emitovány:

$$\phi_p = dN / dt$$

Jednotkou celkového toku částic je zřejmě reciproká sekunda ( $\text{s}^{-1}$ ). Řada zdrojů ionizujícího záření však neemituje částice izotropně do všech směrů. Proto se zavádí úhlová hustota toku částic  $I_\Omega$ , vyjadřující emisi částic z přibližně bodového zdroje do daného směru vyjádřeného prostorovým úhlem  $d\Omega$ :

$$I_\Omega = d\Phi_p / d\Omega \quad (\text{s}^{-1}, \text{sr}^{-1})$$

Lze si povšimnout, že aktivita je veličinou specifickou pro radionuklidové zdroje ionizujícího záření. Emise zdroje je univerzálnější a lze ji použít pro jakékoliv zdroje, např. pro rentgenky, urychlovače částic nebo i jaderné reaktory [8].

### 1.6.2 Veličiny charakterizující pole ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření vytvářejí kolem sebe v prostoru i látkách je obklopujících určité pole ionizujícího záření. Základní veličinou popisující pole ionizujícího záření je *hustota prošlých částic* neboli *fluence částic*:

$$\Phi = dN / da \quad (\text{m}^{-2})$$

popřípadě její rozložení podle energie. Časová derivace  $\Phi$  je *hustota toku částic*  $\varphi$ , která vyjadřuje okamžitý stav pole záření v daném bodě, je dána vztahem:

$$\varphi = d\Phi / dt \quad (\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

Analogické veličiny se definují nejen pro počet částic, ale i pro energii. To znamená, že je *hustota prošlé energie* (nebo též *fluence energie*)  $\Psi$  určena jako podíl energie  $dE_n$  a plochy  $da$ , kde  $dE_n$  je součet energií (kromě klidových energií) všech částic, které vstoupily do koule o ploše hlavního řezu  $da$ , tedy

$$\Psi = dE_n / da \quad (\text{J m}^{-2})$$

Derivace  $\Psi$  podle času se nazývá *hustota toku energie*  $\psi$  (*hustota zářivého toku, příkon fluce energie*):

$$\psi = d\Psi / dt \quad (\text{W m}^{-2})$$

Všechny tyto veličiny se dají použít k popisu obecného pole záření v prostoru, kdy částice mohou přicházet ze všech možných stran.

Jestliže ionizující záření neprochází prázdným prostorem, ale nějakou látkou, je často zapotřebí vyjádřit nejen počet částic a jejich energii, ale též jejich působení na tuto látku. K uvedeným veličinám musí přistoupit další, závislé obecně i na vlastnostech prostředí, ve kterém se pole ionizujícího záření uvažuje [8].

### 1.6.3 Veličiny charakterizující působení ionizujícího záření na látku

Z definičního vztahu pro dávku  $D$ , která je definována jako poměr  $d_e$  a  $dm$ , kde  $d_e$  je střední energie sdělená ionizujícím zářením látce v objemovém elementu a  $dm$  hmotnost látky v tomto elementu:

$$D = d_e / dm$$

plyne, že její jednotkou je  $J \cdot kg^{-1}$ . Podle usnesení 15. generální konference pro váhy a míry z roku 1975 dostala tato jednotka dávky speciální název gray (Gy). Ve starší literatuře se však lze setkat se starší jednotkou dávky rad. Platí, že  $1 \text{ rad} = 10^{-2}$ .

Přírůstek dávky v závislosti na času má název *dávkový příkon* (*dávková rychlost*):

$$D' = dD / dt \quad (\text{Gy s}^{-1})$$

Dávka je sice veličinou, která charakterizuje absorpci energie v daném elementárním objemu, nevypovídá však o bezprostředních projevech interakcí primárního záření s látkou. Speciálně v případech, kdy je primární záření nepřímo ionizující, může docházet k jeho interakci ve zcela jiném místě v prostoru, než ve kterém pak sekundární nabitě částice ionizují a excitují atomy prostředí a dávají příspěvek dávce. Proto byla definována další veličina, charakterizující působení nepřímo ionizujícího záření z hlediska energetických ztrát primárních částic v daném prostředí – *kerma*  $K$ :

$$K = dE_K / dm \quad (\text{J kg}^{-1})$$

kde  $dE_K$  je součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic uvolněných nepřímo ionizujícími částicemi v objemovém elementu daného materiálu a  $dm$  hmotnost látky v tomto elementu. Definujeme i kermový příkon (kermová rychlost):

$$K' = dK / dt \quad (\text{J kg}^{-1}\text{s}^{-1} = \text{W kg}^{-1})$$

Kerma tedy vyjadřuje interakci primárního nepřímo ionizujícího záření v dané látce.

Pro popis polí fotonového záření si stále zachovává význam v dozimetrii historicky velmi stará a z hlediska definice několikrát různě modifikovaná veličina, která vyjadřuje ionizační účinky fotonů ve vzduchu, *expozice X* :

$$X = dQ / dm$$

$dQ$  je absolutní hodnota celkového náboje všech iontů jednoho znaménka, vytvořených ve vzduchu při úplném zabrzdění všech elektronů (a to záporných i kladných), které jsou uvolněny fotony v objemovém elementu vzduchu o hmotnosti  $dm$ . To znamená, že je expozice definována pouze pro jeden druh záření, a to záření fotonové, a jeden materiál, vzduch. Z definice vyplývá, že jednotkou expozice v soustavě SI je coulomb na kilogram. Ve starší literatuře se lze setkat s dřívější mimosoustavovou jednotkou, kterou je rentgen (R). Převodní vztah mezi oběma jednotkami je  $1R = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C kg}^{-1}$ .

Expozice vyjadřuje důsledky interakce primárního nepřímo ionizujícího záření s elementárním objemem látky.

Z hlediska radiační hygieny tyto fyzikální veličiny nevystihují dobře účinky ionizujícího záření na biologické organismy. K tomuto účelu se používá *dávkového ekvivalentu H*, který je součinem dávky  $D$  ve tkáni a tzv. *jakostního faktoru Q*, popřípadě i dalších modifikujících faktorů, jejichž součin se označuje zpravidla  $N$ :

$$H = DQN$$

Tyto bezrozměrné faktory vyjadřují rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření [8].

#### 1.6.4 Veličiny používané v radiační ochraně

ICRP dělí veličiny používané v radiační ochraně do dvou skupin – na ty, které jsou určeny pro měření a výpočty a ty, které slouží k limitování ozáření. První veličiny jsou

založeny na dávkovém ekvivalentu, druhé jsou zčásti i na ekvivalentní dávce. Dávkový ekvivalent je definován jako součin dávky  $D$  v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele  $Q$ . Jakostní činitel  $Q$  vyjadřuje rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření (jeho hodnoty jsou funkcí lineárního přenosu energie  $L$ )

Podobným způsobem, jako se definuje dávkový příkon, je možné definovat i *příkon dávkového ekvivalentu*:

$$H' = dH / dt \quad (\text{Sv s}^{-1})$$

Veličiny pro praktické měření při monitorování osob i prostředí jsou založeny na dávkovém ekvivalentu.

Pro monitorování osob se užívá *osobní dávkový ekvivalent*  $H_p(d)$ , vyjadřuje dávkový ekvivalent v určitém bodě pod povrchem těla v měkké tkáni v hloubce  $d$ . Součástí údaje o osobním dávkovém ekvivalentu musí být informace o referenční hloubce  $d$ , která se udává v milimetrech. Hodnota  $d = 0,07$  mm se zpravidla používá pro nepronikavé záření (např.  $\beta$ ) a ozáření kůže. Pro ozáření oka je hodnota  $d = 3$  mm. Pro pronikavé záření je nejčastější hodnota  $d = 10$  mm. Měření  $H_p(d)$  lze prakticky uskutečnit pomocí dozimetru nošeného na povrchu těla, překrytého odpovídající vrstvou materiálu ekvivalentního měkké tkáni.

Pro monitorování prostředí se užívá veličina *prostorový dávkový ekvivalent*  $H^*(d)$ , vyjadřuje dávkový ekvivalent vytvořený odpovídajícím a usměrněným polem v hloubce  $d$  v kouli ICRP na poloměru mířícím proti směru pohybu částic v usměrněném poli. Hodnotou dávkového ekvivalentu ve fantomu aproximující lidské tělo se charakterizuje potenciální ozáření osob v daném místě v prostředí. Fantomem je podle ICRP doporučena koule o průměru 30 cm z materiálu ekvivalentního měkké tkáni s hustotou  $1 \text{ g cm}^{-3}$  a složení 76,2 % kyslíku, 11,1 % uhlíku, 10,1 % vodíku a 2,6 % dusíku. Pro měření je důležité, aby pole záření bylo uniformní přes celý objem detektoru a detektor měl izotropní (= směrově nezávislou) odezvu [1].

## 1.7 Detekce a spektrometrie ionizujícího záření

Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, ionizující záření je okem nepostřehnutelné, je proto nutno, abychom se přesvědčili o jeho existenci, ho detekovat pomocí příslušných fyzikálních metod a vhodné přístrojové techniky. Detekce nám umožňuje kromě "zviditelnění" i zkoumání vlastností záření. Poskytuje kvantitativní informace o intenzitě, energii, prostorové distribuci a případně i jiné vlastnosti záření. Detekce záření lze využívat v řadě vědeckotechnických, medicínských a průmyslových aplikacích. Následující podkapitola popisuje přístroje pro detekci ionizujícího záření a měření jeho energie – spektrometrii [14].

### 1.7.1 Druhy detektorů, detekce záření

Existuje řada detektorů ionizujícího záření, které používají různé principy a technické konstrukce. Přístroje pro detekci ionizujícího záření funguje buď samostatně, nebo jsou součástí přístrojů pro měření některých veličin a monitorování určitých dějů pomocí radiačních metod.

Mezi jednoduché detekční přístroje, cejchované v jednotkách radiační dávky (Gray, Sievert) či dávkového příkonu, řadíme dozimetry. Dnes se hlavně používají při radiačním monitorování pro posuzování účinku záření na živou tkáň.

*Detektory můžeme dělit do několika kategorií:*

Podle: A) **časového průběhu** detekce

B) fyzikálně-technického **principu detekce**

C) **komplexnosti** měřené radiační informace.

A) podle časového průběhu detekce dělíme detektory na:

▪ kontinuální

- tyto detektory poskytují průběžnou informaci o okamžité intenzitě záření nebo počtu kvant ionizujícího záření. Odezva detektoru by měla být přímo úměrná okamžité

intenzitě záření. Pokud detektor přestane být ozařován, klesne signál na výstupu na nulu či na hodnotu pozadí. Příkladem jsou elektronické dozimetry.

- kumulativní (integrální)

- tyto detektory shromažďují rostoucí odezvu během expozice. Odezva zůstává v detektoru uchována i po skončení expozice a může být vyhodnocena dodatečně. Patří sem převážně detektory fotografické a materiálové.

I některé elektronické dozimetry mohou pracovat v tomto principu. Mohou být přepínány do režimů měření dávky nebo okamžitého dávkového příkonu.

B) podle principu detekce dělíme detektory na:

- fotografické

- tyto detektory jsou založené na fotochemických účincích záření nebo využívají fotografické zobrazení stop částic v látkovém prostředí. Příkladem jsou filmové dozimetry, rtg dozimetry, jaderné emulze.

- materiálové

- tyto detektory využívají dlouhodobější změny vlastností látek (např. barvu, složení, excitaci) působením ionizujícího záření. Těžké částice, především alfa záření, zanechávají stopy v materiálu, které se dají zviditelnit či detekovat. Tyto detektory mají nízkou citlivost, proto jsou použitelné pouze pro vysoké intenzity záření či dlouhodobou kumulativní detekci.

Většina materiálových kumulativních detektorů má nepříznivý jev, kterému říkáme fading (slábnutí signálu, odezva detektoru s časem). Dochází k němu průběžně v období mezi ozářením a vyhodnocením. V důsledku fyzikálních a chemických vlivů v materiálu detektoru dochází ke spontánnímu mizení latentního obrazu u fotografických materiálů, nebo ke spontánní deexcitaci metastabilních elektronových hladin termoluminiscenčních a fotoluminiscenčních dozimetrů.



- elektronické

- u těchto detektorů se část absorbované energie ionizačního záření převádí na elektrické proudy či impulzy, které se zesilují. Sem patří např. plynové ionizační komory (včetně proporcionálních a GM. Detektorů), scintilační detektory, polovodičové detektory aj.

C) podle komplexnosti měřené informace dělíme přístroje na:

- detektory záření

- tyto detektory nás informují pouze o intenzitě záření, resp. o počtu kvant záření, nikoliv však o druhu záření a jeho energii. Patří sem filmové, termoluminiscenční dozimetry, ionizační komory včetně GM.detektoru.

- spektrometry ionizujícího záření

- měří nejen intenzitu či počet kvant záření, ale i energii kvant záření. Výsledkem měření je energetické spektrum, které zachycuje graficky závislost četnosti kvant (intenzity záření) na energii. Spektrum vyjadřuje energetické rozložení kvant záření. V tomto režimu pracují např. scintilační detektory, polovodičové detektory a magnetické spektrometry.

- zobrazovací detektory

- zobrazují prostorové rozložení intenzity záření. Nejjednodušším detektorem je fotografický film. Luminiscenční stínítka se používala v rtg diagnostice. Později byla doplněna zesilovači obrazu a případně elektronickým zpracováním. Dnes se používají multidetektorové systémy. Prostorově vhodně rozmístěné detektory poskytující informaci o místech dopadu záření, o úhlech z nichž záření přilétá. Příkladem jsou scintilační kamery a polovodičové pixelové detektory.

- dráhové detektory částic

- vyhodnocují dráhy pohybu částic v prostoru i zakřivení drah v magnetickém poli. Vyhodnocení probíhá na základě materiálových efektů (fotochemických reakcí či kondenzací kapiček z páry nebo vznikem bublinek v přehřáté kapalině) nebo elektronicky – systémem prostorově rozmístěných detektorů [14].

## **2. Cíle a hypotézy**

Cílem této bakalářské práce je vytvořit ucelený přehled měřících přístrojů laboratoře osobní dozimetrie na ZSF JU. Specifikovat jejich měřící charakteristiky a podle nich navrhnout, jaké typy vzorků lze měřit. Dalším bodem je navrhnout doplnění stávajícího přístrojového vybavení tak, aby co nejlépe splňovalo požadavky na odbornou přípravu studentů.

Hypotézou práce je, zda-li současný stav přístrojového vybavení výukové laboratoře osobní dozimetrie ZSF JU je postačující pro praktickou výuku studentů.

### **3. Metodika**

#### **Přístrojové vybavení laboratoře osobní dozimetrie**

Laboratoř zdravotně sociální fakulty v Českých Budějovicích je vybavena následujícími přístroji:

- Zařízení na vyhodnocení termoluminiscenčních dozimetrů
- Elektronický osobní dozimetr
- Měřič dávkového příkonu
- Scintilační spektrometr gama
- Polovodičový spektrometr gama
- Studňový spektrometr
- Nízkopozad'ový měřič alfa - beta

#### **3.1 Zařízení na vyhodnocení termoluminiscenčních dozimetrů**

##### **Termoluminiscenční dozimetr (TLD)**

Termoluminiscenční dozimetry jsou vhodné krystalické látky, ve kterých ionizujícím zářením dochází k excitaci a zachycení elektronů v energeticky vyšších stavech. Při zahřívání jsou elektrony uvolňovány. Krystalická látka vyzařuje světlo – fotony s maximem o vlnových délkách 200 – 600nm. Pro detekci vyzářené energie se používají zpravidla scintilační detektory. Používají se různé druhy termoluminiscenčních látek, mezi nejpoužívanější patří stopovými prvky dopované LiF, CaF<sub>2</sub>, BeO, MgBO<sub>4</sub> a CaSO<sub>4</sub> [1].

V termoluminiscenčním dozimetru je zapouzdřen vzorek určité látky s přesně definovaným množstvím. Tato látka je vystavena účinku záření v místě, kde má být zjištěna radiační dávka. Po skončení expozice se látka vyjme z pouzdra a ve vyhodnocovacím zařízení se zahřeje podle druhu materiálu na patřičnou teplotu (160 - 300°C). Fotonásobičem se snímá emitované viditelné světlo. Elektrický signál

z fotonásobiče se zaznamenává v závislosti na teplotě. Vzniklá tzv. vyhřívací křivka, jejíž integrál (plocha pod křivkou) je úměrná dávce v dozimetru [14].

Dříve se termoluminiscenční detektory používaly převážně jako operativní dozimetry, dnes jsou běžnými hromadnými aplikacemi v celostátních službách osobní dozimetrie. Důvodem toho došlo k vyvinutí standardizovaných detektorů a vyhodnocovacích systémů dovolující automatické vyhodnocování pomocí počítačů.

Přednostmi termoluminiscenčních dozimetrů jsou:

- existence termoluminiscenčních látek, které mají vlastnosti blízké lidské tkáni – energie záření je citlivému objemu detektoru předána podobnými procesy jako stejnému objemu lidské tkáně,
- vysoká citlivost detektorů s možností přesného měření odezvy,
- poměrně široká oblast lineární závislosti mezi dávkou a odezvou detektoru,
- možnost opakovaného používání detektoru (nutností je sledovat změny citlivosti detektoru)
- malá citlivost na vnější vlivy (teplota, vlhkost, chemické výpary)

Naopak nevýhodou je jejich citlivost na světlo, proto se vyžaduje při jejich praktickém používání ochrana světlotěsným obalem. Problém může nastat při použití detektorů v dozimetrii beta záření, protože světlotěsné obaly zvyšují energetický práh detekce [1].

Laboratoř je vybavena termoluminiscenčním dozimetrem LiF – fluorit litný-vyráběný firmou Harshaw pod značkou „TLD - 100” - čipy

LiF patří k nejrozšířenějším látkám v dozimetrii pevné fáze. Přibližně 90% všech aplikací je jím prováděno. Zdaleka není ideálním dozimetrem, má však řadu nevýhod. Předností je však blízká ekvivalence tkáni a odpovídající malá energetická závislost.

Práce s LiF termoluminiscenčními dozimetry není zcela jednoduchá. Dozimetr je velmi citlivý na povrchovou čistotu. Kromě čištění a mytí v ultrazvukové pračce se po každém použití musí tepelně popouštět. Smyslem tepelného zpracování je uvést vnitřní

strukturu dozimetru do původního stavu pro použitelnost původní kalibrační křivky. Tato procedura zvaná „annealing“, spotřebuje mnoho času a je to tedy další nevýhoda tohoto dozimetru. Běžný annealing vyžaduje dvouhodinový výhřev na 300 °C s následným prudkým ochlazením na 80 °C a žiháním po dobu 24 hodin. Existují však typy, které tuto proceduru nevyžadují [2, 16].

### **Zařízení na vyhodnocení termoluminiscenčních dozimetru (TLD) značky Harshaw 3500 (obr. 1)**

#### *3.1.1 Obecný popis zařízení*

Harshaw manuální čtečka termoluminiscenčních dozimetrů model 3500 je stolní přístroj, který je ručně obsluhovaný a řízený počítačem. Používá se pro měření termoluminiscenční dozimetrie. Vyznačuje se vysokou spolehlivostí, výkonností a odpovídá nejnovějším požadavkům ISO.

Čtečka 3500 čte jeden dozimetr za druhým. Rozlišuje množství termoluminiscenčních konfigurací, včetně čipů, disků, tyčinek a prášku.

Čtečka je řízena softwarem Harshaw WinRems, je to dozimetrický řídicí systém na bázi Windows. Uživatel je schopen si nastavit soubor, který automaticky zaznamenává ID (= identifikační číslo) dozimetru a informaci o pacientovi, nebo manuálně vložit ID každého dozimetru. Software je schopen zajistit všechny funkce pro kalibraci, kontrolu kvality, ukládání, přenos a export všech dozimetrických dat [17].

**Zařízení provádí měření dávek z termoluminiscenčních dozimetrů.**



Obr 1. Zařízení na vyhodnocení termoluminiscenčních dozimetrů značky Harshaw 3500

### 3.1.2 Základní části čtečky:

- přední řídicí panel -
- tvořený třemi LED kontrolkami stavu a tlačítko Read (=číst)
  - soustava zásuvky se vzorkem s vyměnitelnou planžetou
  - vestavěné referenční světlo pro periodické monitorování čtečky
  - zásuvka pro rozšiřující filtry
- zadní deska –
- vstup pro napájení s výběrem napětí s přístupem k pojistce
  - tlačítko resetování přístroje
  - připojení pro potrubí dusíkatých plynů
  - sériový komunikační port RS-232
  - zapuštěný seřizovací šroub tlaku

Technická část zařízení je tvořena čtečkou a počítačem, který je kompatibilní s IBM na bázi Windows, spojený přes sériový port RS-232. Dozimetrické funkce jsou děleny mezi čtečku a specializovaný software WinREMS, který běží na PC.

Tato jednoduchá stavba umožňuje uživateli použití vlastního počítače, jednoduché přidávání volitelných funkcí a updating aplikačního softwaru. Software je schopen

monitorovat provozní podmínky přístroje v reálném čase a zobrazit křivky žáru a hodnot odezvy.

Čtečka používá kontaktní zahřívání, které produkuje teploty přesné na  $\pm 1^\circ\text{C}$  do  $400^\circ\text{C}$ .

Profil času teploty (TTP) je definován uživatelem ve třech segmentech: Předehřátí, Dosažení a Žihání.

Aby bylo dosaženo přesnějšího odečtu nízké expozice a zvýšení životnosti planžety umožňuje model 3500 obtékání dusíku kolem planžety. Dusík eliminuje nežádoucí termoluminiscenční signály vyvolané kyslíkem, prochází také komorou trubice fotonásobiče, aby zabránil vlhkosti způsobené kondenzací.

Pro efektivnější použití přístroje si lze u výrobce objednat plnou výbavu příslušenství hardware a softwaru, které zahrnuje externí ozařovače, přístroje pro manipulaci s dozimetry, skladovací košíky, žihací pece, filtry s neutrální hustotou, regulátor a ventil tlaku dusíku, nepřerušovaný zdroj energie a specializovaný aplikační soubor [17].

### *3.1.3 Fyzikální specifikace přístroje*

Zmiňované parametry jsou bez externích připojení

Výška: 31 cm

Šířka: 32cm

Hloubka: 47 cm

Váha: 25 kg

### *3.1.4 Software WinREMS*

Čtečka přenáší termoluminiscenční data do WinREMS, který je uchovává pro budoucí reference a zprávy. Software řídí operace čtečky včetně uchovávání operačních parametrů (profily času teplot - TTP, kalibrační faktory čtečky - RCF, koeficient korekce částic - ECC), provádí řadu operací kalibrace a ověření kvality, umožňuje čtečkám sdílet databáze a exportuje termoluminiscenční data.

### 3.1.5 Dozimetry

Termoluminiscenční detektory jsou vyráběny z různých materiálů a v různých velikostech (čipů, tyčinek, disků nebo prášek). V našem případě jsou používány čipy TLD – 100, které se vkládají při měření na vyhřívanou planžetu čtečky.

### 3.1.6 Specifikace výkonu přístroje

Dynamický rozsah: sedm dekad

Zahřívací čas: 30 minut

Stabilita referenčního světla: *krátkodobá* – kolísání méně než 0,5 % , v závislosti na 1 standardní odchylce z 10 po sobě jdoucích odečtů provedených při konstantní teplotě

*dlouhodobá* – (0,5 – 110 hodin) – maximální odchylka 2 %

TTP reprodukovatelnost:  $\pm 1$  °C

Linearita: odchylka méně než 1 %

Stabilita vysokého napětí (po zahřívací době minimálně 30 minut):  $\pm 0,005$  za hodinu  
 $\pm 0,02$  % nad 8 hodin

Doba cyklů: Závisí na termoluminiscenčním materiálu, rozměru a typu a na odpovídajícím TTP [17].

### 3.1.7 Ovládání zařízení

Čtečka je opatřena několika ovládacími tlačítky.

**Tlačítko Power On/Off** – je umístěno na pravé straně přístroje, ovládá zapnutí a vypnutí. Pokud mezi jednotlivými zapnutími uplyne více než hodina je nutné přístroj nechat před měřením dvacet minut zapnutý.

**Tlačítko Start** – je umístěno na přední straně panelu přístroje. Startuje čtecí cyklus. Aby tlačítko fungovalo, musí svítit kontrolka Ready. Toto tlačítko není funkční na přerušení čtecího cyklu.



**Světelné kontrolky** – jsou uloženy na předním panelu přístroje.

- a) Ready – zelená – čtečka nepracuje, je připravena začít vyhodnocovat cyklus.
- b) Cycle – žlutá – čtečka vyhodnocuje termoluminiscenční materiál, svítí po celou dobu vyhodnocování
- c) Fault – červená -někde se vyskytla chyba, čtečka není připravena na vyhodnocovací cyklus

**Zásuvka pro dozimetry** – na přední straně čtečky, slouží k ukládání vyhodnocovaných Vzorků. Zásuvka obsahuje dvě rozlišná místa [17].

#### *3.1.7.1 Manipulace s dozimetry*

Čtečka vyhodnocuje různé formy termoluminiscenčních materiálů: čtverce, disky, tyčinky a mikrokostičky. K vyhodnocování materiálu dochází na planžetě na pravé straně zásuvky. S materiálem se manipuluje buď mechanicky nebo pomocí vakuové pinzety. Materiál musí ležet plnou plochou na planžetě, kvůli ohřívání. Při zavírání zásuvky nesmí dojít k posunutí materiálu.

Uživatel je plně zodpovědný za správu identifikátorů jednotlivých termoluminiscenčních elementů, jelikož materiál není možné viditelně označit, je nutné věnovat velkou pozornost ukládání, třídění, skladování aby nedošlo k promíchání jednotlivých termoluminiscenčních elementů.

Pro každý dozimetr v systému je nutné založit identifikační kód [17].

#### *3.1.7.2 Základní nastavení a ovládání*

Materiálů, které mohou být vyhodnocovány je celá řada, je důležité je rozdělit do tří skupin. První jsou dozimetry s číselnými kódy v osobních dozimetrech, druhá jsou termoluminiscenční materiály v osobních dozimetrech a třetí jsou jednotlivé termoluminiscenční materiály.

### *Vyhodnocení jednotlivých teroluminiscenčních materiálů*

#### ▪Nastavení vyhřívací křivky:

Z WinREMS menu vybereme položku Read, následně tlačítko TTP a nastavíme vyhřívací křivku. Zde lze nastavit jak dlouho a při jaké teplotě budou materiály vyhodnocovány. V poli Title Field se zobrazí seznam dostupných vyhřívacích profilů, z kterých vybereme ten který požadujeme.

#### ▪Nastavení vyhodnocování :

1) V dialogovém okně hlavního menu WinREMS se vybere položka Read a následně tlačítko ACQ, program poté vyžaduje heslo. Program umožňuje měnit nastavení vyhodnocovacího procesu. Parametry v tomto okně kontrolují mnoho aspektů činnosti čtečky při čtení dozimetrů. Mohou být měněny veškeré hodnoty aniž by to ovlivnilo kalibraci TTP.

2) Výběr módu vyhodnocování – definuje účel pro který budou dozimetry čteny.

3) Kalibrační faktory – určujeme, které korekční faktory budou aplikovány na vyhodnocená data. Kalibrační faktory požadují, aby byly kalibrovány detektory i vyhřívací křivka.

4) Nastavení parametrů kontroly kvality – nastavuje přesnost a shodnost čtení.

5) PMT šum – šum nebo temný proud, je měřen bez jakéhokoliv dozimetru nebo světelného zdroje.

6) QC dozimetry – zkalibrované dozimetry ozářené známou dávkou, ověřují kalibraci a celkovou přesnost.

7) Blank dozimetry – neozářené – měří pozadí, nebo se používají k ověření vedlejšího signálu v systému.

8) Ref Light – měření referenčního světelného signálu, slouží k určení možného driftu systému nebo zašpinění čoček sloužící k fokusaci fotonů do fotonásobiče.

9) Nastavení limitů – nastavují hladinu pod níž jsou data považována za normální (při překročení se spustí zvukový alarm) nebo hladinu při které je dozimetr znovu n krát vyhodnocen.

▪Vyhodnocování dozimetru

- 1) Spuštění vyhodnocovacího okna – z hlavního menu WinREMSu se vybere Read a potom Start
- 2) Select Acquisition Setup – výběr způsobu vyhodnocování
- 3) Select TTP – výběr vyhřívací křivky
- 4) Začátek vyhodnocování – tlačítkem Start se spustí vyhodnocovací proces
- 5) Čtení PMT šumu a referenčního světla – pokud není hodnota PMT šumu na 0, vyzve čtečka uživatele k měření
- 6) Ester Dosimeter ID – vloží se identifikační číslo dozimetru, poté se umístí dozimetr na planžetu a zavře se zásuvka
- 7) Čtení dozimetru – pokud svítí zelená kontrolka, čtečka je připravena ke čtení - zahájíme tlačítkem Start
- 8) Zastavení měření – tlačítkem Stop v menu kde se zadávají identifikační čísla dozimetrů lze měření kdykoliv zastavit [17].

### 3.1.8 Použití zařízení ve výuce

Ve výuce je toto zařízení používáno pro následující úlohy:

**1) Stabilita referenčního světla**

- provádí se krátkodobé a dlouhodobé měření referenčního světla

**2) Stabilita proudu za tmy (šumu) a pozadí detektoru**

- provádí se dlouhodobé měření proudu za tmy (bez kyslíku) a dlouhodobé měření pozadí detektoru

**3) Stabilita měření pozadí detektoru, účinnost měření, fading**

- provádí se dlouhodobé měření neozářeného detektoru (pozadí s dusíkem) a měření detektoru ozářeného dávkou 5 mGy [17].

### 3.2 Elektronický osobní dozimetr (obr.2)

Elektronické osobní dozimetry nabyly na významu s vývojem miniaturizací elektroniky a výpočetní techniky. Pracují zpravidla na bázi GM – detektorů (pokud jsou vhodně kompresované jsou schopny detekovat fotony o energii vyšší než 30 keV) nebo v poslední době na bázi polovodičových – Si- detektorů . Elektronické osobní dozimetry, které mají tři Si – detektory, přičemž každý má jinou energetickou závislost, jsou schopny současného měření několika dozimetrických veličin -  $H_p(10)$ ,  $H_p(0,07)$ , a to odděleně pro záření gama a beta (s vyšší energií než 250 keV). Elektronické osobní dozimetry se používají jak pro měření dávek, tak i dávkových příkonů. Dříve se používaly jako operativní dozimetry zpravidla v jaderných elektrárnách, dnes se jejich použití výrazně rozšiřuje. Používají se jako legální dozimetry dozimetrickými službami. Pokud se spojí elektronický dozimetr s kódovanou kartou a s počítačovým vyhodnocením odezvy dozimetru, může se stanovit nejen rozdělení dávky, která byla obdržena osobou v určitém časovém intervalu, ale i v kterém pracovním místě nebo při které pracovní činnosti. Systém dovoluje i celostátní automatizovanou registraci dávek a jejich hodnocení [1].

Laboratoř je vybavena 20 ks elektronických osobních dozimetrů firmy Merlin Gerin typu DMC 2000 XB. Pro vyhodnocení slouží jedna čtečka.

Dozimetr typu DMC 2000 XB je v současné době nejnovějším typem uvedeným na trhu. Umožňuje zaznamenat a následně zobrazit na displej sekundární měření.

#### 3.2.1 Popis dozimetru

Přístroj je tvořen PVC pouzdem, které je velice odolné (vydrží pád z výšky 1,5 m), dvou křemíkových detektorů (vytváří impulsy po interakci s fotony nebo elektrony s citlivou částí diod stíněnými rozdílnými filtry), elektronických obvodů (vč. zesilovače, mikroprocesoru apod.) a Li- Mn baterie. Přístrojem naměřené hodnoty lze odečíst přímo z displeje nebo pomocí čtečky LDM 220, ta převádí informace do programu Dosimass [15,17].

### 3.2.2 Popis čtečky

Čtečka je připojena k USB portu PC. Je tvořena z plastického pouzdra, které obsahuje anténu pro komunikaci s dozimetrem. Dále z karty tištěného spoje, integrovaného kabelu USB a tří dvoubarevných LED diod. Ty informují uživatele o stavu výměnných sekvencí s dozimetrem. Dozimetr se svým displejem přikládá k čelní stěně čtečky, kde jsou LED diody, do vzdálenosti 20 – 30 cm.



Obr 2. Elektronický osobní dozimetr , čtečka připojená k PC

### 3.2.3 Ovládání dozimetru

Pro užívání dozimetru je nutné znát postup, kterým zjišťujeme okamžité hodnoty osobních dávkových ekvivalentů  $H_p$  a  $H_s$  a jejich příkony. Dozimetr pracuje nejčastěji ve dvou základních režimech. Režim „pohotovostní“ a „měřící“. V pohotovostní režimu displej ukazuje – PAUSE, tento režim měření neprovádí, přístroj je v klidu. Slouží k nastavení alarmů a předalarmů, odečítání všech již dříve zaznamenaných údajů a k celkové modifikaci všech parametrů. Přístroj má v tuto dobu minimální spotřebu. V měřícím režimu jsou na displeji znázorněny čtyři veličiny, a to dávkových ekvivalentů  $H_p$  a  $H_s$  a příkony dávkových ekvivalentů  $H_p$  a  $H_s$ . Přístroj lze manuálně přepínat do pozice požadovaných měřících veličin.

V tomto režimu se provádí a zobrazuje samotné měření. Při překročení prahu může dojít k aktivaci alarmu.

Změny nastavení parametrů a odečítání všech čtyřech výše uvedených veličin lze provádět počítačem s programem Dossimass pomocí čtečky LDM 220 [15,17].

#### *3.2.4 Software Dosimass*

Dosimass musí být nainstalován do Windows. Po jeho spuštění se na obrazovce hlavního menu zobrazí výběry z nichž nejdůležitější jsou: Single configuration, History a Entery/Exit.

Výběr Single configuration a poté Measures and Tresh ukazuje naměřené hodnoty o obě referenční úrovně veličin  $H_p$ ,  $H_s$  a jejich příkonů daného dozimetru. Výběr Entery/Exit umožňuje uvést dozimetr do stavu měření. Zde lze také nastavit výstrahy pro všechny čtyři měřené veličiny. Výběr History umožňuje ukázat průběh naměřených dávek v intervalech stanovených uživatelem. Výběr Entery zapisuje hodnoty do paměti dozimetru, Exitem se dozimetr aktivuje do pohotovostního režimu. Tehdy je nutné odstranit dozimetr od čtečky. Software pak žádá další dozimetr, stisknutím tlačítka Cancel se vrací zpět do základního menu [15, 17].

#### *3.2.5 Charakteristika dozimetru*

Dozimetrické charakteristiky elektronického osobního dozimetru Merlin Gerin jsou uvedeny v tabulce:

<b>Veličina, závislost</b>	<b>Rozsah, přesnost</b>
$H_p(10)$ , $H_p(0,07)$ neboli $H_s$	0,001 – 10 000 mSv přesnost $\pm 10\%$ pro $^{137}\text{Cs}$
Příkon $H_p$ , $H_s$	0,01 – 1000 mSv/h    linearity $\pm 10\%$ nad 1000 mSv/h    linearity $\pm 25\%$
Energetická závislost $H_p$	20 keV – 3 MeV    méně než $\pm 30\%$ 3 MeV – 6 MeV    méně než $\pm 50\%$
Energetická závislost $H_s$	20 keV – 3 MeV ( $\gamma$ a X) méně než $\pm 20\%$ 60 keV – 6 MeV ( $\beta$ )    méně než $\pm 30\%$
Směrová závislost (mimo ve směru baterie)	pro energii $^{241}\text{Am}$ $\pm 50\%$ pro energii $^{137}\text{Cs}$ $\pm 20\%$

Detekované záření : gama a X- záření, beta

Typ detektoru: energeticky kompenzovaná Si dioda

Kalibrace: lepší než  $\pm 5\%$   $^{137}\text{Cs}$  při 0,2 mSv/h,  $H_p(10)$

Saturace: optická indikace přetečení do 10 Sv/h, dosažení saturace až při 50 Sv/h

Napájení: LiMnO<sub>2</sub> článek CR 2450 RENATA nebo TOSHIBA

Doba nepřetržitého provozu: při běžném používání 8 – 12 měsíců do vybití baterie

Alarmy: zvukový – 85 dB ve 30 cm

optický - červená LED a blikající displej

Prahy alarmů: pro dávku, dávkový příkon nastavitelné v celém měřicím rozsahu

Teplotní rozsah: provozní: - 100 °C až + 500 °C

skladovací: - 300 °C až + 700 °C

Vlhkost: menší než 90 % při 420 °C

Mechanická odolnost: odolný vůči nárazům, vibracím a pádům

Rozměry: 84 x 48 x 17,5 mm

Hmotnost: 56g včetně baterie [15,17].

**Zařízení měří dávky a dávkové příkony od zdrojů gama a beta**

### 3.2.6 Použití zařízení ve výuce

Ve výuce je toto zařízení používáno pro následující úlohy:

#### 1) Měření pozadí

- přepnutí do měřícího a zpět do pohotovostního režimu
- přepínání v měřícím režimu na  $H_p$ , příkon  $H_p$ ,  $H_s$  a příkon  $H_s$
- stanovení pozadí v měřícím systému  $H_p$  s  $H_s$

#### 2) Měření účinnosti detekce

- provádí se odečtení  $H_p$  a  $H_s$  dozimetru ozářeného 5 mSv kolmo na dozimetr ( $0^\circ$ )
- provádí se odečtení  $H_p$  a  $H_s$  dozimetru 5mSv šikmo na dozimetr ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$ )

#### 3) Časová závislost odezvy

- provádí se odečtení  $H_p$  a  $H_s$  dozimetru ozářeného 5 mSv kolmo na dozimetr ( $0^\circ$ )
- provádí se odečtení  $H_p$  a  $H_s$  dozimetru 5mSv šikmo na dozimetr ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ) [17].

## 3.3 Měřič dávkového příkonu (obr. 3)

Laboratoř je vybavena měřičem dávkového příkonu NRG 302 A. Přístroj se používá k lokalizaci zdroje ionizujícího a k mapování pole fotonového ionizujícího záření v terénu i na pracovišti. Hmotnost přístroje je do 4 kg.

### 3.3.1 Popis činnosti přístroje

Fotony gama nebo X, které dopadají na detekční jednotku jsou absorbovány ve scintilátoru NaI(Tl). Absorpce energie je doprovázena vznikem světelných fotonů ve scintilátoru, které po dopadu na fotokatodu fotonásobiče se mění na tok elektronů a následně po úpravě elektronickým systémem fotonásobiče na elektrický impuls. Výstupní impuls detekční jednotky se přivádí na vstup vyhodnocovací jednotky, zde jsou impulzy zesíleny. Diskriminátorem jsou propuštěny jen ty s vyšší amplitudou než je nastavená diskriminační úroveň. Dalším obvodem jsou impulzy vytvářeny a



převezeny na obvod akustické indikace s reproduktorem a přeměněny integračním obvodem na stejnosměrný proud tekoucí ručkovým měřidlem [17].

### 3.3.2 Ovládací prvky na vyhodnocovací jednotce NZZ 302

Otočný přepínač FUNKCE – zvolení jedné ze tří činností přístroje:

VYP – vypnuto

KNB – kontrola napětí baterie

(s) – časové konstanty – 0,3 ; 1 ; 3 a 10 sekund

Potenciometr CEJCH – plynule mění diskriminační hladinu v rozmezí min. 3:1

(při otáčení zleva doprava)

Otočný přepínač ROZSAH – volí jeden ze šesti rozsahů měřené četnosti impulsů ( $s^{-1}$ )

Vysokopaměťový konektor DET – slouží k připojení detekční jednotky

Konektor ZAPIS – slouží k připojení registračního zapisovače

Potenciometr HLASITOST – vypíná a reguluje úroveň akustické indikace měření četnosti impulsů

Páčkový přepínač NAPÁJENÍ – volí způsob napájení přístroje (sít' nebo baterie)

Indikátor chodu sítě – pokud je přístroj připojen k síti, svítí

Ručkové MĚŘIDLO – horní a dolní stupnice měřidla slouží k odečítání měřené četnosti impulsů, prostřední nečíslovaná stupnice slouží ke kontrole nabití baterie [17].

### 3.3.3 Charakteristika měřice

Odezva přístroje je dána četností impulsů odečitatelnou v rozsahu  $10^{-1}$  až  $3 \cdot 10^4 s^{-1}$  s přesností  $\pm 1\%$ . S ohledem na energetickou závislost v rozsahu energií gama 25 keV – 2,5 MeV, je nutné provést korekci na citlivost záření („k”) podle vztahu:

$$N = k * D$$

Kde „n” – četnost impulzů ( $s^{-1}$ ), „D”- dávkový příkon ( $Gy * s^{-1}$ ).

Citlivost „k” (v jednotkách  $10^9 Gy^{-1}$ ) pro detekční jednotku ND 3501 C je uvedena pro některé typy a energie v tabulce:

Beta $^{90}Sr + ^{90}Y$	4	
Neutrony $^{241}Am + Be$	70	
		S korekčním filtrem
Gama 60 keV	13600	680
165 keV	10500	910
661 keV	900	640
1250 keV	450	430
Přírodní pozadí – celkové	1700	640
- nad hladinou vody	600	200

Z tabulky vyplývá, že rozsah měření např. pro záření gama  $^{137}Cs$  je 0,4 nGy/h – 0,17mGy/h

Použití různých časových konstant umožňuje variovat mezi potřebou rychlé odezvy (nižší časová konstanta) a snížením statistické chyby vyhodnocení dávkového příkonu (vyšší konstanta). Chyba je úměrná druhé odmocnině převrácené hodnoty časové konstanty. Aby bylo měření přesné, je nutné, při změně dávkového příkonu odečítat hodnoty až po uplynutí 3 až 5ti násobku časové konstanty [17].

### 3.3.4 Použití zařízení ve výuce

Ve výuce je toto zařízení používáno pro následující úlohy:

### 1) Měření přírodního pozadí v laboratoři

- provádí se odečtení hodnoty pozadí ze stupnice ve výšce 1 m nad podlahou v časových konstantách 10, 3, 1 a 0,3 s. Rozsah stupnice je nastaven pro pohyb ručičky v rozmezí 0,1 – 0,9 škály.

### 2) Měření přírodního pozadí venku

- měří se venku ve výšce 1 m nad zemí, zpravidla nad trávěnkem nebo zoranou půdou) [17].



Obr. 3 Měřič dávkového příkonu NRG 302A

## 3.4 Scintilační spektrometr (obr. 4)

### 3.4.1 Princip spektrometrie

Gama záření je elektromagnetické záření, které vzniká při pochodech v jádrech radionuklidů. Energie jednotlivých fotonů tohoto záření se pohybuje v rozmezí desítek keV až MeV. Protože jádro ve vzbuzeném stavu vyzařuje fotony s charakteristickou

energií pro každý prvek, lze určit o který prvek se jedná. Toho se využívá k zjištění zastoupení různých prvků v daném vzorku materiálu i v případě stopového množství a obsahu radioaktivních prvků v životním prostředí.

#### *3.4.2 Charakteristika přístroje*

Scintilační spektrometr je založen na interakci nabitých částic s citlivou oblastí detektoru. Částice předá detektoru kinetickou energii, ta excituje elektrony v atomových obalech do vyšších energetických stavů. Vzápětí dochází k samovolné deexcitaci a k vyzáření části excitační energie v podobě světelného záblesku – tzv. scintilace. Světelný záblesk je pomocí fotonásobiče převeden na proudový puls. V předzesilovači je proudový impuls následně integrován – vzniká napěťový impuls, jehož amplituda je přímo úměrná časovému integrálu proudového pulsu. Tato veličina je přímo úměrná energii deponované v citlivé oblasti detektoru. Spektrum amplitud napěťových pulsů, měřené po elektronickém zpracování mnohokanálovým analyzátozem, odpovídá tedy energetickému spektru registrovaných částic. Při měření  $\gamma$ -záření se registrují elektrony vznikající v citlivé oblasti detektoru v důsledku interakce záření s materiálem detektoru. Spektrum pulsů na elektrodách detektoru proto odpovídá energetickému spektru všech vzniklých elektronů.

#### *3.4.3 Popis spektrometru*

Základními prvky scintilačního detektoru, nacházejícího se v laboratoři osobní dozimetrie, jsou: scintilační detektor NaI (Tl), předzesilovač, zesilovač, analogově digitální převodník, mnohokanálový analyzátor a vyhodnocovací jednotka, kterou tvoří počítač s uživatelským softwarem. Současný stav techniky umožňuje, že analogově digitální převodník a mnohokanálový analyzátor jsou součástí počítače a pomocí softwaru jsou ovládány jejich parametry tak, aby mohly být optimálně vyhodnocovány odezvy detektoru.

Používaný program v laboratoři umožňuje vedle dalších parametrů nastavit zejména:

- napětí na scintilační sondě (zde použito 750 V)

- dobu měření (Acquire Preset) vč. spouštění a vypnutí měření a vymazání spektra (Acquire On, Out, Erase)
- analogově digitální převodník (Seput ADC) např. spodní a horní diskriminaci (coarse LLD, fine LLD, ULD)
- displej vč. nastavení osy impulsů (V scale – lin, log, sqrt) aj.
- kalibraci osy kanálů automaticky ze spekter v paměti PC nebo manuálně a to energii (Energy) nebo pološířky píků (FWHM)

### *3.4.4 Postup při měření*

1) zapnutí počítače i obrazovky

2) vybrat startmca.bat

3) nastavit napětí na detektoru – Seput (stisknout S), pak HVPS (stisknout V), Level (stisknout L), nastavit 750 V a stisknout Enter

4) zapnout napětí detektoru – v menu Sepu/HVPS – On (stisknout N), pak 2x stisknout Esc do základního menu

5) nastavit „osu impulsů“ - ze základního menu Display (stisknout D), pak Vscale (stisknout V), Log/Lin/Sqrt (stisknout L), zvolit stupnici logaritmicke Log (stisknout o) nebo lineární Lin (stisknout i) nebo kvadratickou Sqrt (stisknout s). Nakonec 3x stisknout Esc do základního menu

6) stanovit typ měření – pozadí nebo na detektor položit etalon  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  anebo na detektor vložit Marinelliho nádobu s etalony

7) nastavit čas měření – ze základního menu Acquire (stisknout A), pak Preset (stisknout P), zvolit čas čistý bez mrtvé doby Live (stisknout L) nebo celkový Real (stisknout R), dále nastavit čas podle typu měření (pozadí 480 hodin, etalony  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  1 hodina, etalony v Marinelliho nádobě minimálně 2 hodiny v návaznosti na rozpad krátkodobých etalonů ve formátu hh:mm:ss a stisknout Enter. Nakonec stisknout Esc do menu Acquire

8) spustit měření – z menu Acquire On/Off (stisknout o), pak On (stisknout n) a rozběhne se měření. Nakonec se stiskne 2x Esc do základního menu

3.4.5 Postup vyhodnocení spektra (podrobný postup pro vyhodnocení spekter je uveden v manuálu přístroje)

- 1) po skončení nabírání spektra je potřeba vyznačit píky
- 2) stanovit se energie jednotlivých píků
- 3) kalibrace „osy kanálů“ bodovými zdroji  $^{60}\text{Co}$  a  $^{137}\text{Cs}$
- 4) kalibrace „osy kanálů“ zdroji při Marinelliho geometrii
- 5) účinnost detekce při Marinelliho geometrii

**Při výuce se používá ke studiu měření aktivity a energie zářičů gama např. při vnitřní kontaminaci osob**



*Obr. 4 Scintilační spektrometr gama*

### 3.4.6 Použití zařízení ve výuce

Ve výuce je toto zařízení používáno pro následující úlohy:

#### 1) Kalibrace bodovými zdroji $^{60}\text{Co}$ a $^{137}\text{Cs}$

- na scintilační detektor se vloží etalony, nastaví se čas měření (1 hodina) a spustí se nabírání spektra

- spektrum se vyhodnotí

#### 2) Měření pozadí v laboratoři

- nastaví se čas měření (500 hodin) a spustí se nabírání spektra

- spektrum se vyhodnotí

- stanoví se energie gama fotonů radionuklidů

#### 3) Energetická kalibrace při Marinelliho geometrii

- Marinelliho nádoba s etalony se vloží na scintilační detektor a nastaví se čas 160 hodin) a spustí se nabírání spektra

- spektrum se vyhodnotí

#### 4) Účinnost detekce při Marinelliho geometrii

- používá se spektrum vytvořené v předchozí úloze č. 3

- vyhodnotí se účinnost detekce

## 3.5 Polovodičový spektrometr gama (obr. 5)

### 3.5.1 Polovodičové detektory

Polovodičové detektory jsou založeny na ionizačních účincích v pevných látkách. Pokud vnikne ionizující částice do vhodného polovodiče, vytváří v něm ionizací páry elektron – díra, přičemž většina primárních elektronů má tak velkou energii, že způsobuje další nárazovou ionizaci prostředí. Dochází k lavinovitému uvolňování elektronů do vodivostního pásu a tvorbě děr ve valenčním páse, počet uvolněných nosičů náboje tedy závisí na energii primární částice. Pokud přiložíme na tento vodič napětí, vlivem elektrického pole se volné nosiče nábojů (elektrony a díry) dají do

pohybu v příslušném směru a v připojeném obvodu vznikne proudový impuls, jehož velikost závisí na energii dopadající částice ionizujícího záření. To nám umožňuje využít polovodičové detektory jak pro detekci ionizujícího záření, tak pro spektrometrická měření.

Energie potřebná k tvorbě jednoho páru elektron – díra je asi 10 x nižší než energie potřebná k tvorbě iontového páru v plynu a asi 50 x nižší než energie nutná k uvolnění jednoho elektronu z fotokatody fotonásobiče. Energetická rozlišovací schopnost polovodičových detektorů je proto značně lepší než rozlišovací schopnost detektorů plynových a scintilačních. Nevýhodou polovodičových detektorů je nutnost nepřetržité udržení nízké teploty (kapalný dusík – 196 °C), omezení dosažených rozměrů a tedy i menší geometrická účinnost [12].

### *3.5.2 Charakteristika přístroje*

Polovodičový spektrometr gama v klasické sestavě: polovodičový detektor High Purity Germanium, předzesilovač, zesilovač, analogově digitální převodník, mnohokanálový analyzátor a vyhodnocovací jednotka – počítač s uživatelským softwarem. Při dnešním stavu techniky jsou součástí počítače analogově digitální převodník a mnohokanálový analyzátor. Pomocí softwaru GAMWIN jsou ovládány jejich parametry tak, aby mohly být optimálně vyhodnocovány odezvy detektoru.

Programový balík GAMWIN je určen pro provádění rutinních analýz spekter záření gama. Systém obsahuje běžné funkce pro vyhledávání a stanovení plochy píků, identifikaci nuklidů, stanovení jejich aktivity a stanovení minimální detekované aktivity. GAMWIN umožňuje také ovládání některých vícekanálových analyzátorů a zpracování jejich spekter. Samozřejmostí je možnost provádění energetických (včetně kalibrace šířky píků) a účinnostních kalibrací, editace knihoven nuklidů a editace souborů a editace souborů certifikátů.





*Obr. 5 Polovodičový spektrometr gama*

### **3.6 Studňový spektrometr (obr. 6)**

#### *3.6.1 Scintilační studňový detektor*

Scintilační studňový detektor je tvořen scintilačním detektorem, který má uprostřed krystalu vyvrtán otvor pro zasunutí zkumavky. Tímto způsobem je dosaženo výrazně lepší geometrické účinnosti měření. Nezbytnou součástí je příslušná elektronická aparatura. Celý přístroj musí být stíněn olověným krytem. Slouží především k měření různých vzorků in vitro. Obvykle je vybaven automatickým vzorkoměničem a ovládán počítačem. Jeho hlavní výhodou je vysoká účinnost měření gama záření, které činí pro energii 140 keV 50 – 70 % [13].

### 3.6.2 Popis spektrometru

Zařízení sestává ze studňového (pro zářiče o obsahu max. 15 ml) scintilačního detektoru NaI (Tl) typu NZ – 138 výroby Gamma Works Budapešť, s předzesilovačem a vše ve stínění 30 mm Pb (shora posuvná dvířka 42 mm Pb + 20 mm Fe + 10 mm Al).

Detektor je připojen na spektrometr typu NK – 225 výroby Budapešť, který obsahuje:

- zdroj vysokého napětí = HVPS (200 – 2000 V)
- zesilovač = Amplifier (zisk = Gain 1 – 100, časová konstanta = Time constant 0,5 – 2  $\mu$ s aj.)
- analogově digitální konvertor = ADC (konverzní faktory = Conversion factor 40 mV resp. 4mV/imp)
- jednobaný analyzátor = Single Channel Analyse (diskriminátor = Discr. Level 80 mV – 4 V, šířka kanálu = Channel Width 40 mV – 2 V aj.)
- čítač = Scaler (6 dekád)
- časovač = Timer (6 dekád)
- „Ratemeter“, „Display“ atd.

### 3.6.3 Postup měření

1) Nejprve je nutné nastavit na trvalo některé parametry:

- a) zesilovače (Gain 10, Time Constant 1  $\mu$ s)
- b) analyzátoru (Discr. Level 80 mV tj. 2\*20, Channel Width 200 mV tj. 2\*100, Mode DIFF)

2) Před každým měřením se nastaví vysoké napětí 750 V, zvolí se na řídicí jednotce Mode (Auto) a maximální hodnotu počtu imp. (Preset Count) nebo dobu měření (Preset Time).

Měření se spouští stisknutím tlačítka Start při modu Auto se měření ukončí při dosažení nastaveného času.



Obr. 6 Studňový spektrometr

### 3.6.4 Použití zařízení ve výuce

Ve výuce je toto zařízení používáno pro následující úlohy:

#### 1) Stabilita měření pozadí

- nastaví se parametry, doba měření  $t = 2000$  s. Měření se provádí 5x, se zavřenými dvířky.

Vypočítá se průměr ( $P$ ) a chyba ( $\pm s$ ) podle vztahů:

$$P = (\sum P_i) / 5 \quad s = (\sum (P - P_i)^2) / 4$$

## 2) Měření zářiče $^{137}\text{Cs}$

- nastaví se parametry, doba měření  $t = 200$  s. Měření se provádí 5x, se zavřenými dvířky a vypočítá se průměr (P) a chyba ( $\pm s$ ).
- na detektor se položí etalon  $^{137}\text{Cs}$ . Měření se provádí 5x, se zavřenými dvířky po dobu  $t = 200$  s. Vypočítá se průměr (I) a chyba ( $\pm S$ )
- od průměru (I) se odečte pozadí (P). Spočítá se (při znalosti aktivity etalonu A) účinnost měření ( $\eta$ )

$$H = (I - P) / A * t$$

V jednotkách imp / kBq\*s

## 3) Měření zářiče $^{60}\text{Co}$

- měření probíhá stejným způsobem jako v předchozí úloze 2)

### 3. 7 Nízkopozad'ový měřič alfa – beta

Zařízení typu NA 6210 výroby Tesla Přemýšlení obsahuje proporcionální sondu (měřicí sonda je plněna methanem) a scintilační sondou v antikoncidenčním zapojení. Vše se nachází v olověném stínění.

Vyhodnocovací zařízení sestává z klasických součástí:

- zdroj vysokého napětí pro obě sondy
- předzesilovač
- zesilovač
- analogově digitální převodník a čítač impulsů a času (Scaler, Timer)

Zdroj vysokého napětí umožňuje na proporcionální sondu vložit napětí 1000 až 5000 V a na scintilační sondu 400 až 2000 V.

Nízkopozad'ový měřič pracuje na principu proporcionálního počítače (plněný methanem) s tříkanálovým analyzátozem.

Princip antikocidence – dochází k dostínění připojením dalšího a to scintilačního detektoru, který měří rovněž okolní záření (kosmické, terestrální). Hodnoty tohoto scintilačního detektoru se odečítají tak, že zůstávají pouze hodnoty alfa a beta z proporcionálního počítače.

Měřič se k výuce nepoužívá na nebezpečnost methanu pro studenty.



*Obr. 7 Nízkopozad'ový měřič alfa – beta*

## 4. Diskuse

Jak již bylo řečeno v úvodu, lidstvo bylo během svého vývoje vystaveno neustálému působení přirozeného záření, ať se jedná např. o kosmické záření dopadající na Zemi z kosmu nebo o přírodní radionuklidy. Ty jsou součástí všeho. Skládá se z nich naše Země, jsou ve vodě i ve vzduchu, ve všech dalších látkách kolem nás a svým rozpadem ozařují vše ve svém okolí. Vývoj lidské společnosti a s tím spojený rozvoj vědy s sebou přináší potřebu a užitečnost využívání ionizujícího záření ve stále rostoucí míře. To vedlo k nutnosti formulovat základní koncepce a normy ochrany před ionizujícím zářením. V sedmdesátých letech 20. století se proto začala vytvářet nová vědní disciplína – osobní dozimetrie.

Osobní dozimetrie je jedním z nejdůležitějších nástrojů pro limitování ozáření pracovníků se zdroji ionizujícího záření. Radiační pracovníci jsou evidováni a tříděni do profesních skupin v 6. oblastech (průmysl, jaderná energetika, lékařství, uranový průmysl, výzkum a školství, servis a služby). V ČR je průměrně ročně evidováno přibližně 21 tisíc aktivních radiačních pracovníků, z nichž více jak jedna polovina je evidována ve zdravotnictví (radiodiagnostika, nukleární medicína, radioterapie, kardiologie).

Hlavním cílem osobní dozimetrie je kontrola dávek radiačních pracovníků vzhledem ke stanoveným limitům. Měření osobních dávkových ekvivalentů pro hodnocení vnějšího ozáření se provádí pomocí osobních dozimetrů. Ty musejí pracovníci nosit při sobě během všech prací s ionizujícím zářením a při pobytu v kontrolovaném pásmu - *(„oblast, kde jsou nebo mohou být vyžadována zvláštní ochranná a bezpečnostní opatření k usměrnění normálního ozáření nebo zabránění šíření se radioaktivní kontaminace za normálních pracovních podmínek či k zabránění potenciálního ozáření nebo jeho omezení”)* [1].

ZSF JU vlastní 2 typy dozimetrů – elektronický osobní a termoluminiscenční. První zmiňovaný se dříve nejčastěji v praxi užíval jako doplňkový operativní dozimetr, kde příkon dávkového ekvivalentu může překročit 1000 mS/h. Dnes jsou již legálním prostředkem k osobnímu monitorování a např. na jaderných elektrárnách v ČR

nahradily dozimetry filmové. V současné době jako jediný přístroj laboratoře může a je využíván pro výzkumnou činnost. Studenti jej používají pro vyhodnocování dávek od zdrojů záření při tvorbě svých bakalářských a diplomových pracích – příkladem může být měření dávek při defektoskopických pracích, při laboratorních podmínkách na pracovišti nukleární medicíny, na pracovišti radioterapie atd. Obrovskou výhodou tohoto dozimetru je jeho poskytování průběžných aktuálních informací o dávce včetně možnosti nastavení alarmu při překročení úrovně. Nevýhodou je závislost na baterii, vyšší pořizovací cena, horší přesnost měření při nízkých dávkových příkonech a fakt, že jejich odezva může být ovlivněna vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem.

Dalším typem dozimetru je dozimetr termoluminiscenční. Studenti v laboratoři používají při vyhodnocování pouze detektor, který byl pro potřeby laboratorních cvičení ozářený  $^{137}\text{Cs}$  v JE Temelín dávkou 5 mGy. Fakulta nepoužívá dozimetrickou kazetu. Ve spojení s dozimetrickou kazetou lze detektor použít k měření osobních dávkových ekvivalentů  $H_p(10)$ , bez ní např. k monitorování izodoz při radioterapii.

Dnes se vyrábí celá řada TL detektorů z různých materiálů v různých velikostech čipů, tyčinek, disků nebo ve formě polykrystalického prášku. Laboratoř by mohla být, kromě stávajícího TLD 100 čipu, vybavena stejným typem dozimetru pouze s jinou formou materiálu např. TLD 100 prášek. Studenti by pak mohli porovnávat shodnost naměřených veličin u obou typů TLD.

„TLD - 100“, polykrystalický prášek je aktivován hořčíkem a nepatrným množstvím některých dalších prvků jako Ti, Cu, Al aj. Tento produkt má zachován přírodní poměr izotopů lithia – 7,5%  $^6\text{Li}$  a 92,7%  $^7\text{Li}$ . Vyhřívací křivka má obvykle 5 vysokoteplotních maxim, hlavní leží v okolí teplot 450 – 493 K. Nízká teplota hlavního maxima způsobuje u tohoto detektoru u jistý fading (kolem 10% za první 3. měsíce po ozáření). Křivka energetické závislosti má pouze 30% zvýšení v oboru nízkých energií elektromagnetického záření. Emisní spektrum je v oblasti 400 nm a luminiscenční výtěžek pro fotonové záření je dostatečný pro detekci dávek asi od 10  $\mu\text{Gy}$  výše.

V praxi se téměř vždy používají dozimetrické látky v dodatečném obalu či pouzdru. Zapouzdření splňuje několik požadavků: uzavření práškové látky, ochrana před znečištěním a zprostředkovává při ozařování i potřebnou elektronovou rovnováhu.

Pouzdro může sloužit i ke zlepšení směrové závislosti dozimetru nebo k filtračním účelům.

Předností dozimetru je malá hmotnost, nebývá větší než 50 – 100 mg. Celý dozimetr včetně zapouzdření pak nebývá těžší než 1 g. 100g termoluminiscenční látky znamená zásoba na několik let, neboť při šetrném zacházení lze mnohokrát používat.

Při výběru vhodného detektoru posuzujeme jeho závislost na energii, fading, citlivost, opakovatelnost čtení a reprodukovatelnost údajů. Důležité je budoucí použití dozimetru, jiné požadavky jsou kladeny na dozimetry kontroly osob, jiné na dozimetry životního prostředí či pro klinickou dozimetrii.

K běžné potřebě stačí druh, rozměry a finální provedení vyrobené příslušnou komerční firmou. V netypických případech si jednoduše vyrobíme a upravíme svůj vlastní. Oba případy však vyžadují individuální kalibraci, protože se nikdy nedocílí vyrobení či získání naprosto identických dozimetrů [2].

Na ZSF JU již bylo sepsáno několik závěrečných prací zaměřených na porovnávání dávek naměřených elektronickým osobním a termoluminiscenčním dozimetrem na pracovištích se zdroji záření. Z prací vyplývá, že měřicí schopnosti obou zmiňovaných dozimetrů jsou velmi podobné.

Na ZSF by studenti, mimo již dříve zmiňovaných úloh, mohli provádět např. dlouhodobé monitorování přírodního prostředí pomocí termoluminiscenčního dozimetru, srovnání dávkové (případně energetické) závislosti různých druhů dozimetrů (elektronického a termoluminiscenčního) pomocí etalonů rozdílných aktivit a dále ozáření dozimetrů stejnou dávkou - termoluminiscenční dozimetr vyhodnotit a porovnat s odezvou elektronického osobního.

Firma Harshaw uvádí ve svých prospektech použitelnost termoluminiscenčních dozimetrů ve 4 vědních oblastech:

1) v oblasti „Health Physics“:

- dozimetrie osob, dozimetrie celotělová, prstová, fantomová
- havarijní dozimetrie vysokých dávek
- dozimetrie vnitřních kontaminací
- monitorování okolí jaderných elektráren



- vyšetřování účinnosti stínění
  - stopování radioaktivního mraku
  - dozimetrie leteckého personálu a kosmonautů
  - havárie kritických souborů
- 2) v oborech radiobiologických:
- nukleární medicína
  - klinická dozimetrie
  - dozimetrie vnitřních zářičů
  - dozimetrie mezifází
- 3) v experimentálních oblastech:
- ve fyzice vysokých energií
  - měření zářivých polí
  - kalibrační problematika
  - kosmická studia
  - přírodní radioaktivita
- 4) v geologii a archeologii
- stanovení stáří nerostů a předmětů
  - stanovení pravosti.

TLD nejvíce prospěly v osobní dozimetrii. Dnes jsou využívány většinou centrálních dozimetrických služeb. TL dozimetrie přinesla zpřesnění a výhody ekonomického charakteru. Přínos je i v jiných oblastech, např. při jaderné havárii nelze TLD přeexponovat, je interní a může se ponořovat do kapalin, může přijít do styku i s biologickým materiálem, není toxický, svými rozměry a váhou dovoluje podrobné mapování izodózních křivek nebo multidetektorovou kontrolu osob. Obrovskou výhodou je dlouhodobá expozice bez nároků na zdroje napětí [2].

Jednou ze základních složek Radiační monitorovací sítě ČR je síť termoluminiscenčních dozimetrů. Činnost sítě byla zahájena v roce 1989 s cílem monitorovat vnější ozáření obyvatel na území ČR. Síť pracuje ve dvou základních složkách – teritoriální a lokální (v oblasti jaderných elektráren) síti. ČR má na svém území přibližně rovnoměrně rozmístěných 206 monitorovacích míst [11].

Mezi další přístroje používané fakultou patří měřič dávkového příkonu. Byl vyroben v roce 1984 firmou Tesla. Patří mezi nejstarší přístroj laboratoře. Je sice zastaralý, ale stále funkční a studenti na něm měří dávkové příkony zejména přírodního pozadí. Výsledky monitorování pracovního nebo přírodního prostředí jsou známy okamžitě po odečtení údajů z přístroje. Hodnoty se odečítají pomocí ručičky na stupnici. Akusticky indikuje lokalizaci zdrojů ionizujícího záření. Dnes je na trhu celá řada víceúčelových operativních měřičů s digitálním displejem, které jsou schopné měřit jak dávkový příkon, tak i dávku. Při použití přídatných sond lze tyto přístroje používat i ke zjišťování kontaminace. Používají se pro široký rozsah aplikací v různých oblastech záchranných prací a dalších činností. V případě kvalitnějšího a efektivnějšího vybavení laboratoře by bylo vhodné takový přístroj obstarat.

Měření dávkového příkonu gama v sobě zahrnuje příspěvek všech radionuklidů, při jejichž přeměně je emitováno pronikavé záření gama. Měření je poměrně jednoduché, rychlé a používá se jako prvního a základního při zjišťování mimořádných situací nebo při hledání zdrojů ionizujícího záření. Nevýhodou měření dávkového příkonu je fakt, že se jedná o měření slepé. Bez dalšího vyšetření není možno identifikovat zdroje záření gama a jejich aktivitu. Hodnoty dávkových příkonů jsou za normálních situací v dané lokalitě více méně konstantní a s časem se nemění. Vyšší dávkové příkony v prostředí mohou být způsobeny např. výskytem minerálu smolince, zkamenělinami pravěkých zvířat, staršími předměty natřenými uranovými barvami, staré fyzikální pomůcky, předměty kontaminované radioizotopy běžně užívané v nukleární medicíně, ztracené radioaktivní etalony nebo zdroje používané v průmyslu (např. hladinoměry, tloušťkoměry, defektoskopy) [10].

Posledními přístroji laboratoře jsou spektrometry. Neměří jenom intenzitu či počet kvant záření, ale měří i energii kvant záření tj. energetickou distribuci dané veličiny – aktivitu, fluenci. Jestliže známe energii fotonů uvolňovaných při přeměně jednotlivých radionuklidů, pak můžeme určit nejen o které radionuklidy se ve vyšetřovaném vzorku jedná, ale vyhodnocením spektra v dané energetické oblasti

odpovídající konkrétnímu radionuklidu lze pak stanovit i jeho aktivitu. Podle toho, jaký druh detektoru použijeme pro detekci fotonů gama záření, lze rozdělit spektrometrii gama na polovodičovou a scintilační. Scintilační gamaspektrometrie využívá detektoru nejčastěji krystalu NaI(Tl). Polovodičová gamaspektrometrie používá detektor, jehož základem je krystal čistého, v našem případě, germania. Jedná se o elektronické detektory pevné fáze, kde se část absorbované energie převádí na elektrické proudy či impulzy, které se zesilují a vyhodnocují v elektronických zařízeních.

Scintilační detektor, je takový detektor, který využívá vlastnosti některých látek, které při pohlcení kvant ionizujícího záření reagují světelnými záblesky (scintilacemi). Scintilátorem může být látka jak organického, tak anorganického původu s velkou pravděpodobností emise scintilačního fotonu a dostatečnou průhledností pro fotony. NaI(Tl) je anorganický materiál, který se vzhledem k vysoké hustotě a vysokému protonovému číslu používá především pro spektrometrii gama. U detektoru NaI(Tl) musí být velká pozornost věnovaná hermetickému uzavření krystalu, aby nedošlo ke zvlhnutí a zežloutnutí, tím by ztratil průzračnost a spektrometrické vlastnosti. Detektory se vyrábějí také v tzv. studnovém uspořádání s vrtaným krystalem. Ta umožňuje téměř  $4\pi$  měřící geometrii. Studnový detektor používáme tehdy, chceme-li zvýšit účinnost detekce a měřit veškeré záření emitované vzorkem do plného prostorového úhlu  $360^\circ$  - geometrie  $4\pi$  [3].

Polovodičové detektory jsou takové detektory, jejichž princip detekce spočívá na vlastnostech polovodivých materiálů. Energie potřebná k vytvoření iontového páru, přesun elektronu z nejvyššího energetického pásu do vodivostního přičemž musí překonat tzv. energetický pás, musí být menší než 3 eV.

Literatura uvádí, že polovodičové detektory mají přibližně 30x lepší energetickou rozlišovací schopnost než detektory scintilační. Scintilační mají naopak vyšší detekční účinnost pro záření gama a kratší mrtvou dobu. Mrtvá doba detektoru charakterizuje časový interval od detekce jednoho kvanta, po kterou detektor není schopen detekovat další kvanta. Polovodičové detektory nacházejí největší uplatnění

tam, kde potřebujeme co nejlepší energetickou rozlišovací schopnost, např. v jaderné fyzice, rentgen-fluorescenční analýze, neutronové aktivační analýze, měření radionuklidové čistoty preparátů či zjišťování radionuklidů v ekologii.

Studenti v laboratoři osobní dozimetrie pracují pouze s etalony, při gamaspektrometrii používají etalony bodové –  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , pro Marinelliho geometrii jsou to etalony –  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ .

Studenti v laboratoři by na spektrometrech v rámci cvičení mohli provádět energetické kalibrace detektorů scintilačních i polovodičových. Kalibrace spočívá ve stanovení správného měřítka na vodorovné ose, vycházející ze skutečnosti, že amplituda výstupních impulsů je úměrná energii záření absorbované v detektoru. Pro spolehlivou energetickou kalibraci se zpravidla používá více linií záření gama o různých známých energiích. Energetickou kalibraci by bylo možné provádět s užitím zářičů  $^{152}\text{Eu}$  a  $^{137}\text{Cs}$ . Etalon  $^{137}\text{Cs}$  o energii fotonů 662 keV je součástí výbavy laboratoře, nikoli však etalon  $^{152}\text{Eu}$  o energii fotonů 120 keV, který navrhuji doplnit.

Nutným vybavením detektorů zejména v laboratorních podmínkách je jejich stínění. To snižuje odezvu detektoru na fotony gama, které se nacházejí v okolí detektoru. Pocházejících převážně z přeměn přírodních radionuklidů. Stínění se zhotovuje z železa nebo olova, pokud se jedná o olovo je nutné jej v oblasti do 100 keV odstínit od charakteristického záření olova.

Laboratoř osobní dozimetrie tyto parametry nesplňuje, spektrometry nemají stínění. Není možné zde měřit vzorky velmi nízkých aktivit např. z životního prostředí, případně z biologických materiálů. Bez stínění lze použít pouze pro vzorky aktivit vyšších. Z tohoto vyplývá, že při současném stavu a velikosti laboratoře je použitelná čistě pro potřeby studentů. Ty zde získávají patřičné informace a praktické dovednosti pro budoucí profesní uplatnění.

Pro plné využití gamaspektrometrů, by bylo nutné pořídit stínění. Pro velkou hmotnost zastínění by laboratoř musela být přesunuta do suterénu.

## 5. Závěr

Osobní dozimetrie, ke vzniku této vědy vedla skutečnost existence radiačního rizika. Rizika způsobeného jednak přírodními zdroji, bez zásahu lidské činnosti, tak i rizika spojená s rozvojem lidské společnosti. Neustálá snaha o stále dokonalejší rozvoj vědy s sebou přináší i potřebu a užitečnost využívání ionizujícího záření na straně jedné, naopak však i zneužití ionizujícího záření použitím atomových zbraní na straně druhé.

Nejdůležitějším úkolem dozimetrie je osobního monitorování. Slouží k určení osobních dávek sledováním, měřením a hodnocením individuálního zevního i vnitřního ozáření jednotlivých osob. Zpravidla se uskutečňuje pomocí osobních dozimetrů či spektrometrů.

Bakalářská práce je zaměřena na obecný popis přístrojů laboratoře osobní dozimetrie, jejich základních částí, specifikací a charakteristik. Popisuje nejen jejich nastavení, ovládání a vyhodnocení, ale také postupy při měření a používání zařízení při výuce.

Přístrojové vybavení laboratoře je dostačující. Nutností, proto aby mohly být přístroje eventuálně použity pro vědeckou či výzkumnou činnost, je již zmiňované stínění. V nynějším vybavení jsou zastoupena všechna měřidla pro monitorování osobní, pracoviště i přírodního prostředí.

Hypotéza byla potvrzena.

## 6. Použitá literatura

### Monografie

- [1]. KLENER, V. et al. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Azin, 2000, 619s., ISBN 80-238-3703-6
- [2]. KOVÁŘ, Z et al. *Pokroky dozimetrie ionizujícího záření*. Praha: Academia, 1984, 326s.
- [3]. MATZNER, J. *Praktika z dozimetrie*. České Budějovice: JU ZSF, 2004, 79s., ISBN 80-7040-707-7
- [4]. MUSÍLEK, L. *Základy dozimetrie II*. Praha: ČVUT, 1986, 205s.
- [5]. MUSÍLEK, L., ŠEDA, J., TROUSIL, J. *Dozimetrie ionizujícího záření*. Praha: ČVUT, 1992, 282s. ISBN 80-01-00812-6
- [6]. SABOL, J. *Základy dozimetrie*. Praha: ČVUT, 1992
- [7]. SINGER, J. *Dozimetrie ionizujícího záření*. České Budějovice: JU ZSF, 2005, 68s. ISBN 80-7040-752-2
- [8]. ŠEDA, J. et al. *Dozimetrie ionizujícího záření*. Praha: SNTL, 1983, 420s.
- [9]. ŠEDA, J. *Základy dozimetrie*. Praha: ČVUT, 1984, 183s.

### Elektronický zdroj

- [10]. *Detekce ionizujícího záření* [online]. 2012 [cit. 2012-07-25]. Dostupné z [http://www.radioaktivita.cz/mereni\\_prikony.html](http://www.radioaktivita.cz/mereni_prikony.html)
- [11]. *Radiační monitorovací síť* [online]. 2012 [cit. 2012-07-10]. Dostupné z <http://www.suro.cz/cz/rms>
- [12]. *Radiobiologie* [online]. 2012 [cit.2012-07-10]. Dostupné z <http://fbmi.sirdik.org/>
- [13]. *Scintilační studňový detektor* [online]. 2012 [cit. 2012-07-10]. Dostupné z <http://old.lf3.cuni.cz/nuklearnimedicina/scriptai.htm>
- [14]. ULMANN, V. *Jaderná fyzika, ionizující záření, radiologie* [online]. Dostupné z <http://astronuklfyzika.cz/>

### **Nepublikované texty**

[15]. Uživatelská příručka: Elektronický osobní dozimetr DMC 2000XB

[16]. Uživatelský manuál: Termoluminiscenční dozimetr model 3500 Manual TLD Reader

[17]. Osobní manuály a příručky vytvořené pro potřeby studentů panem Ing. Janem Singrem, CSc.

Fotografie přístrojů – vlastní tvorba

## **Klíčová slova**

Laboratoř osobní dozimetrie

Ionizující záření

Elektronický osobní dozimetr

Termoluminiscenční dozimetr

Dávkový příkon

Scintilační spektrometr

Polovodičový spektrometr