



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

**Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc
z ozáření?**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

Autor: Bc. Jitka Votrubová

Vedoucí práce: prof. Dr. rer.nat. Friedo Zölzer, DSc.

České Budějovice 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc z ozáření?“ jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích dne 14. 8. 2017

.....

Jitka Votrubová

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala prof. Dr.rer.nat. Friedu Zölzerovi, DSc. za cenné rady a připomínky.

Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc z ozáření?

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vědeckými úspěchy inspirativní vědkyně Marie Curie Sklodowské a také problematikou týkající se akutní nemoci z ozáření. V práci byly stanoveny dva cíle. Prvním cílem bylo zmapovat život a vědeckou činnost paní Curie. Druhým cílem bylo popsat příčiny a následky akutní nemoci z ozáření. Teoretická část nejdříve popisuje život Marie Curie Sklodowské. Její nelehké studijní začátky na pařížské univerzitě i následně její velké úspěchy. Úspěchy v podobě objevení prvků polonia a radia. Dále se práce zabývá akutní nemocí z ozáření společně se základy radiobiologie.

V praktické části jsem se snažila nalézt odpověď na otázku. Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc z ozáření? Pomocí studia literatury, odborných článků i internetových zdrojů jsem získala mnoho informací. Nejvíce faktů, bylo získáno ze zahraničních odborných časopisů, jelikož v českém jazyce se mnoho aktuálních zdrojů nenachází. Díky těmto informacím jsem tedy mohla pohlédnout komplexněji na tuto osobnost. Zároveň byl vypočítán i odhad letální dávky pro dospělého člověka v případě, jedná-li se o toxický prvek polonium-210. Dále byly provedeny i výpočty, jaké množství by Marie Curie Sklodowská musela izolovat a inkorporovat, aby na následky akutní nemoci z ozáření zemřela. Pro lepší přehlednost jsou výsledky shrnuty do tabulek. Nejsou ani opomenuta ochranná a bezpečnostní opatření a zdravotní problémy spojené s prací s radioaktivními prvky.

Marie Curie Sklodowská pravděpodobně za svůj život neizolovala čisté polonium a nepřišla tedy do kontaktu s takovým množstvím polonia-210, které by jí způsobilo smrt.

Klíčová slova

Marie Curie Sklodowská; radioaktivita; polonium; radium; akutní nemoc z ozáření.

Why Mrs. Curie did not die from acute radiation sickness?

Abstract

This thesis deals with the scientific achievements of the inspirational scientist Marie Curie Skłodowska as well as with the issue of acute irradiation sickness. Two goals were set in the work. The first objective was to map the life and scientific work of Mrs. Curie. The second objective was to describe the causes and consequences of acute illness from radiation.

At the beginning the theoretical part describes the life of Marie Curie Skłodowska. Her difficult beginnings at the University of Paris and her great achievements-discovering the elements of polonium and radium. Further, the work deals with acute radiation sickness together with basics of radiobiology.

In the practical part, I tried to find an answer to this question. Why Mrs. Curie did not die from acute radiation sickness? I have gained a lot of information by studying literature, professional articles and internet resources. Most of the facts were obtained from foreign professional journals because there are not many sources in the Czech language. Thanks to this information, I could deal with this person more detailed. At the same time, in the case of toxic polonium-210, an estimated fatal dose for adults was calculated. In addition, calculations were made of how much Marie Curie Skłodowska would have to isolate and incorporate in order to die for the consequences of acute radiation sickness. For better clarity, the results are summarized in the tables. Safety precautions and health problems associated with work with radioactive elements would not be neglected.

Marie Curie Skłodowska probably was not able to create a clean polonium, and therefore probably did not even accept this direct contact, which would be able to cause her death.

Key words

Marie Curie Skłodowská; radioactivity; polonium; radium; acute radiation sickness.

Obsah

ÚVOD.....	8
1 TEORETICKÁ ČÁST	9
1.1 Marie Curie Skłodowska	9
1.1.1 Pierre Curie a Marie Skłodowska	10
1.1.2 Potvrzení prvků polonia, radia	13
1.1.3 Běžný život.....	14
1.1.4 Radiový průmysl, patent	15
1.1.5 Nobelova cena za fyziku	16
1.1.6 Sláva a smutek.....	16
1.1.7 Nobelova cena za chemii	18
1.1.8 Válka	18
1.1.9 Amerika.....	19
1.1.10 Přijmutí do Lékařské akademie.....	20
1.1.11 Stáří	20
1.2 Základy radiobiologie.....	21
1.2.1 Jednotky v radiobiologii.....	21
1.2.2 Faktory ovlivňující radiační poškození	23
1.2.3 Vnitřní kontaminace a vnější ozáření.....	24
1.2.4 Ochrana před vnitřním ozářením	24
1.2.5 Ochrana před vnějším ozářením.....	25
1.2.6 Biologické účinky ionizujícího záření	25
1.2.7 Účinky deterministické a stochastické	26
1.2.8 Akutní nemoc z ozáření	27
1.2.9 Laboratorní diagnóza akutní nemoci z ozáření	31
1.2.10 Ostatní významné účinky ionizujícího záření	31
1.3 Informace o prvcích, se kterými pracovala Marie Curie Skłodowska.....	35
1.3.1 Smolinec.....	35
1.3.2 Radium	35
1.3.3 Polonium	39
2 CÍL PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA	43
2.1 Cíl práce.....	43
2.2 Výzkumná otázka	43
3 METODIKA	44
4 VÝSLEDKY	46

4.1	Odhad smrtelné dávky polonia-210.....	46
4.2	Smrt Alexandra Litviněnka.....	48
4.3	Marie Curie Skłodowska	51
4.3.1	Množství polonia, se kterým Marie Curie Skłodowska mohla přijít do kontaktu.....	52
4.3.2	Pravděpodobná čistota materiálu	57
4.3.3	Ochranná opatření	59
4.3.4	Zdravotní problémy spojené s prací v laboratoři	66
5	DISKUSE	70
6	ZÁVĚR.....	74
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	75
8	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	84
9	SEZNAM PŘÍLOH	86

ÚVOD

Téma diplomové práce: „Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc z ozáření?“, jsem si vybrala, protože tato geniální vědkyně 19. a 20. století je v mých očích velmi inspirativní osobnost. Osobnost, která za svůj život mnohé dokázala. I přes namáhavou a několikaletou práci v laboratoři stále bádala a lehce nevzdávala své touhy a cíle. Dokázala, že i ženy mohou mít své místo ve vědě. Zároveň si myslím, že mnoho lidí si také pokládá podobnou otázku ohledně jejího zdraví. Jak je možné, že při práci s radioaktivními materiály nepodlehla smrti?

V současné době Marii Curie Sklodowskou a její vědeckou činnost připomíná mnoho publikací, odborných článků a také především muzea. Muzeum ve Varšavě a v Paříži. Stálé expozice v těchto muzeích nám tedy připomínají tuto neobyčejnou ženu a poskytují mnoho informací i o rodinném životě. Můžeme tak nahlédnout do tajů vědy a vcítit se do tehdejší doby na přelomu 20. století.

Cílem této práce bylo zmapovat život a vědeckou činnost paní Marie Curie Sklodowské a dále popsat akutní nemoc z ozáření. Zejména u práce s otevřenými radioaktivními látkami, jak ji prováděla paní Curie.

V teoretické části se věnují životopisu vědkyně. Jsou zde popsány nejdůležitější vědecké objevy, které za svůj život učinila. Dále v teoretické části je popsána akutní nemoc z ozáření. Jaké příčiny tuto nemoc způsobí a zároveň, jaké následky může na lidském organismu zanechat. V praktické části jsem se snažila pomocí odborných článků, především ze zahraničních časopisů, nalézt odpověď na zde výše položenou otázku.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Marie Curie Skłodovská

Marie Skłodovská se narodila jako páté dítě v rodině Skłodovských 7. 11. 1867 ve Varšavě. Otec Władysław Józef Skłodowski (1832-1902) vyučoval na varšavském lyceu. Mariina matka Bronisława (1835-1878) učila a zároveň byla ředitelkou dívčí školy, bohužel roku 1878 zemřela na tuberkulózu. Marie měla tři starší sestry a jednoho bratra. Sestru Zofiu, která zemřela jako dítě, Bronisławu, Helenu a bratra Józefa (Lorencová, 2011; Curie, 2013).

Marie 12. června 1883 ukončila Carské gymnázium a dostává za výborné studijní výsledky zlaté vyznamenání. Celý následující rok Marie prožívá u příbuzných na venkově (Buszewski a Michel, 2011; Lorencová, 2011; Tikkanen, 2017).

Marie se stává domácí učitelkou v necelých sedmnácti letech. Zařadí se tak mezi mladé intelektuály, kteří vyučují po rodinách. Více se do popředí tlačí exaktní vědy, a tak chemie, biologie předčí literaturu. Marie se tak přátelí s „positivistkami“ a společně se sestrami navštěvují „létající univerzitu“. V této „létající univerzitě“ profesori přednáší přírodní vědy, anatomii a sociologii. Se svojí sestrou Broňou neustále přemýšlejí o své budoucnosti a chtějí dále studovat na univerzitě, která by jim to umožnila. V tehdejší Polsku ženy neměly možnost studovat na univerzitě. Broňa s podporou Marie odjíždí studovat do Paříže. V září roku 1891 Marie dostává od své sestry žijící v Paříži dopis, aby se připravila na cestu do Francie, kde zanedlouho začne studovat na jedné z významných univerzit v Evropě (Lorencová, 2011; Strohmeier, 2011; South African Radiographer, 2011; Waclawek a Waclawek, 2011).

Marie úspěšně absolvovala přijímací zkoušky. 3. listopadu 1891 začíná se svým studiem na Sorbonně. Vybrala si Přírodovědeckou fakultu. V prvních týdnech studia se potýká s překážkou v podobě francouzského jazyka. Mýlila se, když si myslela, že umí dokonale tento jazyk, zároveň měla ve fyzice a matematice velké nedostatky (Lorencová, 2011; Dominiczak, 2011).

Chodí na přednášky z chemie, matematiky a fyziky. Chce získat rovnou dva diplomy, jeden z fyziky a druhý z matematiky. Její snaha, pevná vůle a samozřejmě její ohromné vědomosti ji přinášejí při diplomových zkouškách v roce 1893 z fyziky první místo. Již během dvou let studia dokončila fyziku a o rok později matematiku (Lorencová, 2011; Strohmeier, 2011; South African Radiographer, 2011).

Mariin svět byl stále podřízen vědě. Pracuje na studii o magnetických vlastnostech různých druhů oceli. Provádí rozborů nerostů, sestavuje vzorky kovů. Ke své práci potřebuje mnoho přístrojů a nemá tak dobré místo, kde by mohla provádět potřebné pokusy. Se svými problémy se svěřuje profesoru, který pobývá nějaký čas v Paříži. Profesor Kowalski nachází řešení v podobě jednoho významného vědce, který pracuje v Lhomondově ulici na základní škole fyziky a chemie. Marie se tak setkává se svým budoucím manželem (Lorencová, 2011; Wacławek a Wacławek 2011; Gasinska, 2016).

1.1.1 Pierre Curie a Marie Skłodowska

Pierre Curie byl francouzský vědec narozen 15. května 1859 v Paříži. Maturuje v šestnácti letech, v osmnácti má diplom. O rok později je laborantem na přírodovědecké fakultě. Se svým bratrem objevil důležitý jev, „piezoelektrinu“. Pierre učí v městské škole fyziky a chemie a dále pokračuje v teoretické práci o krystalografii. Při své práci sestrojil velmi citlivé „Curieovy váhy“, při zkoumání magnetismu objevuje základní zákon, „zákon Curieův“ (Sartori, 2005; Strohmeier, 2011; Rosenwald a Fridtjof, 2013).

Marie a Pierre si vyprávějí o vědě. Oba mluví v technických termínech, složitých rovnicích. I v osobním životě si velmi rozumí. Sblíží se. 26. července 1895 se Marie Skłodowska stává manželkou Pierra Curieho. V létě projíždějí na svých kolech Francií. Zapomínají na veškeré starosti, které je trápí v Paříži a užívají si samotu (Brož, 2010; Des Jardins, 2010; Strohmeier, 2011).

Marie složila učitelské zkoušky opět nejlépe ze všech uchazečů. Roku 1897 je Marie těhotná. Její zdravotní stav ji nedovoluje tolik pracovat. 12. září téhož roku porodí svoji první dceru Irenu, také budoucí nositelku Nobelovy ceny (Brož, 2010; Buszewski a Michel, 2011).

Koncem roku 1897 má Marie za sebou mnoho práce. Dva diplomy, učitelskou zkoušku, studium o magnetismu kalené oceli. Dále si hodlá udělat doktorát a vybírá si téma výzkumů. Zaujala ji práce od Henriho - Becquerela, kterou pozorně prostudovala. Becquerel zpozoroval, že uranové soli bez předchozího působení světla spontánně vysílaly paprsky neznámé povahy. Byl tak objeven úkaz, který Marie následně pojmenovala radioaktivita (Brož, 2010; Chemical Engineering Progress, 2011).

Manželé Curieovy se chtěli dozvědět více. Chtěli zjistit, kde se bere ta energie, která se neustále uvolňuje ve formě vyzařování z uranových sloučenin. Dále je zajímavý vlastnosti těchto paprsků. Nabízí se tak výborné téma pro výzkumy (Sartori, 2005).

Marie nemá vhodné místo, kde by mohla provádět své výzkumy. Je jí přidělena zasklená dílna v blízkosti školní budovy v ulici Lhomond. Podmínky jsou nevyhovující. Velká vlhkost, náhlé změny teploty, s tím vším mladá vědkyně bojovala. Dokonce do svého sešitu dne 6. února 1898 poznamenala teplotu 6 °C (Lorencová, 2011).

Čím více se Marie zabývá těmito uranovými paprsky, tím více zjišťuje, jak jsou ojedinělé a zvláštní. Začíná přezkoumávat i jiné, již známé chemické prvky, které by mohly mít tuto vlastnost. Zjišťuje, že sloučeniny jiného prvku- thoria, také vyzařují jisté paprsky podobající se paprskům uranu a stejně intenzivní. Tím se potvrzuje, že to není vlastnost jen uranu. Navrhuje pro tento úkaz pojmenování radioaktivita. Prvky uran a thorium nazve prvky radioaktivními (Ellis, 2009; Waclawek a Waclawek, 2011).

Radioaktivní rozpad je proces. Při tomto procesu se nestabilní jádro určitého nuklidu samovolně přeměňuje (včetně účasti obalových elektronů) na jádro jiného nuklidu. Zároveň vzniká ionizující záření. Mateřské jádro, je takové, které je nestabilní a přeměňuje se. Jádro, které vzniká, se nazývá dceřiné. Přeměna jader je statistický jev, ve kterém lze stanovit pouze pravděpodobnost, s jakou se jádra daného radionuklidu přemění za jednotku času. Každý radionuklid má charakteristické parametry: typ přeměny, energii emitované částice (záření), poločas přeměny (Nováková, 2007).

Dále Marie Curie Skłodowska studuje stejnou metodou jiné sloučeniny, soli i nerosty. U nerostů, které podrobila zkoušce a neobsahovaly uran, ani thorium se potvrdila její hypotéza. Byly neaktivní. Ostatní, které obsahovaly uran nebo thorium byly radioaktivní. Nastává překvapení. Radioaktivita je u některých materiálů silnější než se domnívala podle kvantity uranu a thoria obsažené ve zkoumané látce. Nakonec dospěje k závěru, že množství uranu a thoria v prvcích nijak neopravňuje výjimečnou intenzitu pozorovaného záření. Dochází k závěru, že nerosty musejí obsahovat sice malé, ale o to radioaktivnější látky než je již zmíněný uran, thorium. Jelikož v minulých pokusech zkoumala všechny známé chemické prvky, pronese hypotézu, že nerosty obsahují radioaktivní látku, která je zatím neznámou chemickou látkou- nový prvek (Remane a Friedrich, 2011; Waclawek a Waclawek, 2011).

Musí svoji hypotézu ověřit a prvek izolovat, aby mohla s jistotou všem nedůvěřivým vědcům říci, že prvek opravdu existuje. Oba vědci s velkou energií se pouštějí do hledání neznámého prvku ve vlhké dílně na Lhomondově ulici. Roku 1898

tak začala dlouhá doba společného úsilí, které trvalo osm let (Wacławek a Wacławek, 2011).

Velmi aktivní látku zkoumají ve smolinci, uranové rudě. Surový smolinec je čtyřikrát radioaktivnější než čistý kysličník uranu. Předpokládá se, že je známo složení tohoto nerostu, ale zároveň i přes tyto předpoklady musí obsahovat malé množství nového prvku. Domnívají se, že v nerostu je obsažena maximálně jedna setina neznámé látky. Byli by asi překvapeni, kdyby věděli, že tento radioaktivní prvek netvoří ani jednu milióntinu smolince (Curieová, 1964; South African Radiographer, 2011).

Tabulka 1: Hmotnost členů rozpadových řad uranu v radioaktivní rovnováze v 1 tuně přírodního uranu

Uran-radiová řada (U-238)			Uran-aktiniová řada (U-235)		
Izotop	Poločas	m/t U	Izotop	Poločas	m/t U
²³⁰ Th	7,54.10 ⁴ let	17,49 g	²³¹ Pa	3,28.10 ⁴ let	0,34 g
²²⁶ Ra	1,60.10 ³ let	0,34 g	²²⁷ Ac	21,77 let	0,221 mg
²¹⁰ Pb	22,3 let	3,79 mg			
²¹⁰ Po	138,38 dní	70 µg			

Zdroj: Vobecký, 2011

V červenci roku 1898 je oznámen objev nové látky. Marie, která nikdy nezapomněla na svoji rodnou zem, ji pojmenovává polonium. V Comptes Rendus je otištěn článek.

„Domníváme se, že látka, kterou jsme vyloučili ze smolince, obsahuje dosud neobjevený kov, svými analytickými vlastnostmi blízký vizmutu. Potvrdí-li se existence toho nového kovu, navrhuje, aby byl nazván poloniem, podle vlasti jednoho z nás.“ (Curieová, 1964, s. 136).

Dále je 26. prosince 1898 zveřejněna další zpráva pro Akademii věd o objevu druhého radioaktivního prvku ve smolinci. Opět několikařádková zpráva zní.

„Různé, právě vyjmenované důvody nás přesvědčují, že nová radioaktivní látka obsahuje nový prvek, který navrhuje nazvat RADIEM. Nová radioaktivní látka určitě

obsahuje velké množství barya; přesto je její radioaktivita značná: radioaktivita radia tedy musí být ohromná.“ (Curieová, 1964, s. 138).

1.1.2 Potvrzení prvků polonia, radia

Jejich cíl je získat radium a polonium v čisté formě. Uvědomují si, že k izolaci těchto prvků bude zapotřebí zpracovat obrovské množství základní suroviny, jelikož surovina obsahuje jejich nepatrné množství (Rosenwald a Fridtjof, 2013).

Velké množství smolince by bylo příliš drahé pro bádající vědce, a tak podle jejich předpokladů lze najít polonium i radium v odpadu, jelikož těžba uranových solí by neměla narušovat stopy těchto prvků v nerostu. Po přímluvě vídeňské Akademie věd se rakouská vláda rozhodla věnovat tunu odpadu k potřebám dvěma vědcům, kteří ho nutně potřebují ke svému výzkumu. V letech 1902 a 1905 obdrželi 10,5 tuny odpadu dovezeného z Jáchymova (Seidlerová a Seidler, 2007; Lorencová, 2011; South African Radiographer, 2011).

Marie i Pierre si zvykají na práci venku za každého počasí, jelikož dílna není vybavena větráky, které by odváděly škodlivé plyny. Pokud jim počasí nedovolí pracovat pod širým nebem, tak se přesouvají dovnitř a pracují v průvanu, aby se neudusili. V těchto nevyhovujících podmínkách pracovali od roku 1898 až do roku 1902 (Strohmeier, 2011).

Zpočátku se zabývali chemickou izolací radia a polonia, zároveň studovali záření aktivních produktů. Poté si práci rozdělili, aby byla co nejúčinnější. Pierre prozkoumával vlastnosti radia a poznával nový kov. Marie dále pokračovala v úpravě rudy s cílem získat soli čistého radia. Také se dále zabývá studiem polonia. V zápiscích se dovídáme, že musela zpracovávat kolem 20 kg rudy najednou, zastavila kůlnu kotli s usedlinou a tekutinou, přenášela nádoby, přelévala roztavenou rudu a také ji několik hodin míchala v tavících tyglíkách. I když je vyzařování prvku silné, že ho můžeme pozorovat a změřit, tak je velmi obtížné, snad i nemožné ho v minimálním množství z horniny izolovat. Byla to práce zdlouhavá a náročná (Strohmeier, 2011; Kean, 2016 Tikkanen, 2017).

Během těchto let publikují studii o „indukované radioaktivitě“ způsobené radiem. Další studie se zabývala působením radioaktivity a další o elektrických nábojích přenášených radioaktivními paprsky. Dále k příležitosti sjezdu fyziků v roce 1900 zpracovali zprávu o radioaktivních látkách. Tato zpráva vzbudila velký zájem ze strany

ostatních vědců. Kolem roku 1900 se Pierre spojuje s mladým chemikem Andréem Debiernem. Tento chemik objevil nový radioaktivní prvek, o kterém tušili, že se bude nacházet ve skupenství železa a vzácných kovů. Jedná se o aktinium (Curieová, 1964; (Radvanyi, 2013).

Marie dále zpracovává tuny odpadu ze smolince. Díky její trpělivosti během čtyř let stojí na stolech stále koncentrovanější látky bohaté na radium. Hrubé práce v podobě těžkých nádob, či roztavené rudy je pryč. Teď přichází čas čistění a „přerušované krystalizace“ silně radioaktivních roztoků. Kvůli nevyhovujícímu prostředí má práci namáhavější, Pierre už chtěl výzkumy odložit na nějaký čas, až budou podmínky lepší, Marie odmítá (Curie, 2013).

Konečně po čtyřiceti pěti měsících po oznámení pravděpodobné existence radia se Marie dočkala vítězství. Roku 1902 se jí podařilo připravit jednu desetinu gramu čistého radia. Zároveň určuje atomovou hmotnost u tohoto prvku na 225. Jednoho večera se vracejí do kůlny, to co uviděli, je velice překvapilo. Malé částičky radia uschované v malých nádobkách na stole ve tmě spontánně září (Sartori, 2005; Remane a Friedrich, 2011).

1.1.3 Běžný život

Marie začíná vyučovat ve školním roce 1900-1901 fyziku na Ecole Normale V Sèvres, což byla vyšší střední škola. Okolí si všímá, že je Marie bledá, mnoho neodpočívá a přepíná své síly. Od té doby, co zahnila počáteční tuberkulózu, si myslela, že má pevné zdraví. Marie za ty roky strávené v dílně zhubla. Dokládají to zápisy v jejím notesu, kam si ji pečlivě zapisuje. Způsob života je otřesný a projevuje se to na zdraví obou manželů. Jsou upozorňováni svým okolím, ale nepřipouští si, že by dělali něco špatně. Dále mají nedostatek spánku a nemají pořádnou výživu (Sartori, 2005; Tikkanen, 2017).

Radium, které je vyčištěno na chlorid se podobá bílému matnému prášku. Lehce bychom si ho spletli i s kuchyňskou solí. Jeho vlastnosti jsou však neuvěřitelné. Intenzita záření je dvoumilionkrát silnější záření uranu. Radium spontánně vydává radiovou emanaci, což je radioaktivní plynná látka. Později identifikována jako další element, radon. Vyskytuje se například v termálních vodách. Další jev u radia je, že spontánně vydává teplo. Za hodinu je schopno vyzařit tolik tepla, kterým lze rozehrát tolik ledu, kolik radium váží. Pokud ho chráníme před ochladnutím, zahřívá se a jeho

teplota tak může o deset stupňů stoupnout nad teplotou okolí (Curieová, 1964; Sartori, 2005).

Dále radium působí na fotografickou desku přes černý papír, ovzduší dělá vodivým, zapříčiní na dálku vybití elektroskopu, má vlastnost zbarvit na růžovo a fialovo skleněné recipienty, v nichž je uchováno. Dokáže také rozežrat na drobné části papír i vatou, ve které je zabaleno. Marie ve svých zápiscích píše, že jeho světelnost není pozorovatelná ve dne, ale pokud je již šero, jeho záře je patrná. Má také vlastnost působit na ostatní látky, které sami od sebe světlo nevydávají. Je známo, že diamant po působení radia začne fosforeskovat (Curieová, 1964).

Prokazuje se, že je záření nakažlivé. Pokud ponecháme jakýkoli předmět, zvíře, rostlinu, člověka v blízkosti tuby s rádiem, stává se silně radioaktivním. Zároveň tato nákaza znehodnocuje výsledky přesných měření. Marie se snaží s touto negativní vlastností bojovat, i když ví, že vše, co je používáno k chemickým a fyzikálním pokusům se neuvěřitelně rychle stává radioaktivním. I po několika letech budou její sešity se zápisky vyzářovat „aktivitu“ a ovlivňovat měřicí přístroje (Radvanyi, 2013; Meißner, 2015).

Radium může i lidstvu pomáhat. Bude se s ním bojovat proti rakovině. Když roku 1900 vědci z Německa prohlásili- Walkhoff a Giesel, že nová látka má fyziologické účinky, tak Pierre beze strachu vystavil svou ruku účinkům radia. Následně popsal pozorované příznaky na své ruce. Popsal, jak i Marie měla podobné popáleniny, když přenášela pár setin gramu velice aktivní látky, i když byla tuba uzavřena v kovové krabičce. Uvádí, že kůže na rukách se jim neustále loupala, špičky prstů tvrdly a bolely, pokud jimi přenášeli tuby a krabičky s vysoce aktivními látkami (Curieová, 1964; Sartori, 2005).

1.1.4 Radiový průmysl, patent

Začíná se o prvek zajímat více lidí a zároveň vzniká i radiový průmysl. Dokonce roku 1904 podnikavého Francouze Armeta de Lisle napadne založit továrnu, kde se bude vyrábět radium určené pro lékaře léčící zhoubné nádory. V továrně je Marii a Pierrovi přidělena laboratoř, a tak mohli dokončit své práce v lepších podmínkách, než měli v dřevěné kůlně. V době, kdy se radium dostává na trh, je nejdražším kovem na světě. Gram radia byl odhadnut na sedm set padesát tisíc zlatých franků (Seidlerová a Seidler, 2007; Rosenwald a Fridtjof, 2013).

O několik let později, 25. června 1903, předstupuje na Sorbonně před zkoušející. Předkládá spis „Výzkumy radioaktivních látek, konané Marií Skłodowskou-Curieovou“ k posouzení. Zkoušející pokládají Marii otázky a ta stroze odpovídá s občasným napsáním vzorce, rovnice na tabuli. Na závěr je Marii udělen titul doktora přírodních věd s vyznamenáním (Strohmeier, 2011; Buszewski a Michel, 2011).

Ještě před obhajobou disertační práce udělali Curieovi důležité rozhodnutí, které významně ovlivnilo zbytek jejich života. Marie vymyslela výrobní postup při čistění smolince a izolaci radia. Bez onoho postupu však žádná továrna nemůže začít s výrobou tohoto kovu. Rozhodli se, že si nenechají patentovat technický postup a nezajistí si práva na výrobu radia. Poskytnou dokumentaci všem, kdo o ni bude žádat. Poskytují postup výroby rádia, dávají rady každému, kdo je potřeboval (Wacławek a Wacławek, 2011; Gasinska, 2016).

1.1.5 Nobelova cena za fyziku

V prosinci téhož roku, přesně 10. prosince 1903, stockholmská Akademie věd oznámila, že Nobelova cena za fyziku byla udělena pro tento rok z poloviny Henri Becquerelovi a manželům Curieovým za jejich významné objevy v radioaktivitě. Povinností je dle 9. článku statutu Nobelovy ceny udělat během půl roku po zasedání přednášku na téma, za které byli vědci oceněni. Manželé se však udílení cen nezúčastnili, jelikož se necítili dobře, i z důvodu Mariina potratu. Povinnou přednášku odsouvají na jaro, či začátek léta (Brož, 2010; Curie, 2013).

1.1.6 Sláva a smutek

Nobelova cena Marii změnila život. Následující rok je více unavenější. Marie je těhotná. 6. prosince 1904 se narodila druhá dcera- Eva (Curie, 2013).

Konečně je třeba splnit odkládanou povinnost. Manželé se 6. června 1905 účastní přednášky ve Stockholmu. Pierre mluví i za svou ženu ve Švédské akademii věd. Povídá o radiu, jeho objevení, jeho následcích ve fyzice, chemii, či v biologii. Na závěr vědec uvedl, že radium se může stát nebezpečným, pokud se objeví v nesprávných rukách, jako tomu bylo například u Nobelova vynálezu. Výbušnina lidstvu pomohla vybudovat výjimečná díla a zároveň byla použita v rukách zločinců k utrpení (Sartori, 2005; Strohmeier, 2011).

Od 1. listopadu 1904 je Marie jmenována ředitelem prací fyzikální laboratoře na přírodovědecké fakultě pařížské univerzity. Byl ji konečně přidělen i plat. Tato zpráva konečně opravňuje oficiálně Marii ke vstupu do Pierrovy laboratoře. Manželé se poté přestěhovali s přístroji ze staré kůlny do jiných prostorů do Cuvierovy ulice (Wacławek a Wacławek, 2011).

Ve čtvrtek 19. dubna 1906 Pierre umírá nešťastnou nehodou. Střetnul se s koňským povozem, který nebylo možno zastavit. Tato událost otřásla celou rodinou a Marii pozměnila povahu. Stala se navždy osamělou ženou. Nečekaná smrt se objevila v mnohých sloupcích novin a přichází mnoho kondolenčních dopisů (Dominiczak a 2011; Buszewski a Michel, 2011).

Za těchto podmínek je rozhodnuto, že dne 13. května 1906 po rozhodnutí Rady přírodovědecké fakulty je katedra Pierra Curieho svěřena Marii a ona je pověřena přednášet na fakultě fyziku. Stává se tak první ženou v historii francouzského vysokého učení, které bylo uděleno profesorské místo. Řádně jmenována profesorkou byla až roku 1908. Poprvé přednášela 5. listopadu 1906 v půl druhé odpoledne v malé posluchárně. Zájem byl obrovský, řady studentů posílili i další zvědavci (Brož, 2010; Lorencová, 2011; Tikkanen, 2017).

Marie je profesorka, badatelka a ředitelka laboratoře. Začala vydávat své přednášky a roku 1910 publikuje knihu Výzkum radioaktivity. V hlavě se objevují nové výzkumy. Čistila několik desetin gramu radiového chloridu a podruhé určuje atomovou hmotnost látky. Pouští se do izolování samotného rádia, jelikož do této doby, když připravovala čisté radium, jednalo se o radiové soli (chloridy a bromidy), které jsou jeho jedinou stálou formou. Podařilo se tak společně s Andréem Debiernem izolovat prvek nedotčený změnami atmosférických vlivů (Curieová, 1964).

Za pomoci Andrého Debierného Marie studuje i vyzařování polonia a objeví metodu, která dokáže měřit množství radia podle uvolněné emanace. Snahou bylo, aby i ty nejmenší části této úžasné látky bylo možné oddělit a přesně změřit. Přesné váhy v tomto problému moc nenapomohly, jelikož se jednalo o tisíce miligramů. Marie tak začne s obtížnou technikou a předpokládá, že radioaktivní látky se mohou vážit podle paprsků, které vyzařují. Publikuje Tabulku radioaktivních prvků. Připravuje mezinárodní vzorek míry radia. Radiový chlorid o hmotnosti dvacet jedna miligramů je uzavřen ve skleněné tubě. Tato tuba má sloužit jako vzor na všech kontinentech a na všech vahách. Uložena byla na Úřadě měř a vah v Sèvres u Paříže (Sartori, 2005; Wacławek a Wacławek, 2011).

1.1.7 Nobelova cena za chemii

Stejného roku, co Marie neuspěla o místo v Akademii v Paříži, je jí v prosinci 1911 udělena stockholmskou Akademií věd Nobelova cena za chemii. Do této doby se ještě nestalo, že by muži nebo ženě udělili další tuto výjimečnou cenu. Byla oceněna za své práce, které vykonala po manželově smrti. Kvůli milostné aféře s vědcem Paulem Langevinem byla dokonce požádána, aby na slavnostní předání ceny nejezdila. Marie však přes toho varování do Stockholmu vyrazila. Slavnostního předání se účastní i její starší dcera Irena, která za dvacet čtyři let ve stejném sále také tuto cenu obdrží (Chemical Engineering Progress, 2011; Kean, 2016; Tikkanen, 2017).

Již roku 1909 doktor Roux z Pasteurova ústavu, kde je ředitelem, chce pro Marii Curie vybudovat laboratoř. Univerzita se zalekla, aby nadaná vědkyně neodešla z fakulty, a tak společně univerzita s ústavem vystavily Radiologický ústav skládající se ze dvou samostatných částí. V červenci roku 1914 byla stavba na ulici Pierra Curieho dokončena. Jednou částí je laboratoř pro zkoumání radioaktivity, kterou vedla Marie. Druhá laboratoř pro biologické bádání a léčení rakoviny vedl lékař a profesor Claude Regaud. Obě laboratoře spolupracují na rozvoji radiologie. Nad vstupními dveřmi jsou slova: Radiologický ústav, pavilón Pierra Curieho (Lorencová, 2011; South African Radiographer, 2011; Rosenwald a Fridtjof, 2013).

1.1.8 Válka

Začátkem první světové války se Marie rozhodla, že svoji laboratoř nezavře a nenastoupí do nemocnice jako ošetřovatelka. Začala si více informací zjišťovat o organizaci sanitní služby. Objevila v ní mezeru, kterou považovala za tragickou. Nemocnice, které poskytují pomoc raněným vojákům, nemají rentgenová zařízení. Již od roku 1895 díky Roentgenovu objevu, lze vyšetřit lidské tělo bez chirurgického zákroku a vyfotografovat tak kosti a orgány. Roku 1914 je ve Francii v provozu jen omezený počet rentgenových přístrojů. Marie přišla s řešením. Chce vytvořit pojízdný vůz s rentgenovým zařízením. V obyčejném automobilu bylo umístěno rentgenové zařízení, dynamo zajišťující potřebný proud. Dynamo bylo poháněno z motoru. Od srpna 1914 Marie s pojízdnou ambulancí objíždí nemocnice. Sama vyšetřuje zraněné a evakuované. Marie také vybavuje další vozy rentgenovými přístroji a odesílá je z laboratoře. V armádě se tyto vozy nazývali Les Petites Curies – „curiečky“. Z dvaceti

vozů si jeden vůz ponechala na osobní potřebu. Byla to renaultka s plochým předkem a s karosérií dodávkového vozu. Po příjezdu k nemocnici začalo pracovní nasazení. Vybrat pokoj, složení součástek potřebné k rentgenování, natažení kabelu, který byl spojený s dynamem ve voze. Příprava radioskopické desky. Marie používala ochranné rukavice a brýle. Společně s chirurgem se skláněli nad raněnými. Mezi obrysy kostí nacházeli hledané střely nebo střepiny z granátu, které bylo nutno odstranit. Díky této metodě mohli lékaři s přesností operovat. Marie vybavila dvacet vozů a také zařídila 200 rentgenových stanic. Pouze pokud měla ledvinové bolesti, si dopřála dovolenou. Pro dcery to znamenalo, že pokud je matka doma, tak je nemocná. Naléhá na starší sedmnáctiletou dceru Irenu, aby také byla užitečná. Irena se tedy zaučila do rentgenologie, zároveň se nevzdala přednášek na Sorbonně (Pasachoff, 1997; Borzedowski, 2009; South African Radiographer, 2011; Waclawek a Waclawek, 2011).

I přes velké vytížení ji trápí nedostatek školených rentgenologů. V Radiologickém ústavu se brzy sešlo kolem dvaceti uchazečů o první kurz. Kurz zahrnoval teoretické lekce o elektřině, rentgenových paprscích, praktická cvičení a anatomii. Během let 1916-1918 vyškolila sto padesát rentgenologů- ošetřovatelek. Dokonce ve své laboratoři zasvětila do rentgenologie na dvacet vojáků amerického expedičního sboru. Na žádost svých žáků napsala knihu Radiologie a válka. V této knize kladně hodnotí, jak moc jsou vědecké objevy významné a jak může věda pomoci lidstvu (Ellis, 2009; Lorencová, 2011).

1.1.9 Amerika

V květnu 1920 ji navštívila šéfredaktorka velkého newyorského časopisu, Marie Mattingly Meloney. Po rozhovoru s Marií se dozvěděla, že její laboratoř nemá dostatek prostředků. Stále má k dispozici jen jeden gram radia. Potřebovala by další gram, ale bohužel nemá dostatek financí. Paní Meloneyová se chytla výzvy získat další gram radia pro Marii. Po návratu do Ameriky uskutečnila sbírku, ve které se vybraly potřebné peníze (Des Jardins, 2010; Strohmeier, 2011).

Marie se tak vypravila se svými dcerami do New Yorku. 20. května 1921 je významný den pro tuto plachou vědkyni. Dostává od prezidenta Hardinga v Bílém domě ve Washingtonu gram radia. Také navštívila továrnu v Pittsburgu, kde byl gram radia zpracovaný. Dále navštěvuje několik univerzit, mezi nimiž nechyběla Harvardská či Yalská. 28. června se vrací zpět do Francie. Roku 1929 Marie podnikla ještě další

cestu do New Yorku za dalším gramem radia, ke kterému ji pomohla opět paní Meloneyová (Des Jardins, 2010; Gasinska, 2016; Tikkanen, 2017).

1.1.10 Přijmutí do Lékařské akademie

Ve Francii roku 1922 poslalo třicet pět členů Lékařské akademie v Paříži petici svým kolegům. Tito členové, kteří se pod petici podepsali, se domnívali, že by bylo velkou ctí zvolit Marii Curie mimořádným členem Akademie. Je to převratná událost, neboť chtějí zvolit ženu a zároveň bez její žádosti. Ostatní kandidáti ve prospěch Marie odstoupili. Prezident Lékařské akademie pan Chauchard Marii dne 7. února 1922 přijímá do Lékařské akademie jako první ženu ve Francii (Curie, 2013).

Dochází do laboratoře, kde dává rady mladým vědeckým pracovníkům. Odpovídá na jejich otázky a řeší s nimi jejich navržené způsoby k výzkumu. Dá se říci, že byla živou bibliografií radia v pěti jazycích. Během roku 1919 až 1934 publikovali fyzikové a chemikové čtyři sta osmdesát tři vědeckých prací. Na Marii Curieovou připadá třicet jedna publikací. Pod jejím vedením se rozvíjí nadání starší dcery Ireny a jejího manžela Frédérica Jolioty. Roku 1934 objevili umělou radioaktivitu (Curieová, 1964; Buszewski a Michel, 2011; Gasinska, 2016).

1.1.11 Stáří

Marie je stále velice aktivní, přednáší, píše vědecké články, publikace, spis o izotopii a izotopech. Tato léta byla bohužel velice náročná pro její zrak, hrozilo jí oslepnutí. Již roku 1920 lékař Marii oznámil, že šedý zákal ji pomalu během následujících let o jeden ze smyslů připraví. Marie napsala dopis své sestře, kde si právě na zrak i sluch postěžovala. Uvádí, že její oči jsou velmi zesláblé, v uších jí neustále hučí. Zmiňuje se, že by to mohlo být způsobené radiem, jen to s jistotou nelze tvrdit. Dokonce si kvůli nemoci vymyslela imaginární jméno, aby se svět nedozvěděl, jaké měla problémy s očním zákalem (Curie, 2013; Meißner, 2015).

Stále ve spěchu pracovala, byla neopatrná. I když svým studentům zakazovala, aby se nedotýkali tub s radioaktivními látkami holými prsty. Nosili olověné štíty a uchránili se tak před zhoubnými následky záření. Sama však takové zásady nedodržovala (Curieová, 1964).

Marie pouze docházela na pravidelné krevní zkoušky v Radiologickém ústavu. Třicet pět let se Marie zajímala o radium, dýchla radiovou emanaci, byla během války vystavena rentgenovým paprskům. I přes toto vše, měla mírnou změnu krevního obrazu a bolestivé popáleniny na rukách (Curie, 2013).

Dne 4. července roku 1934 v Sancellemoz umírá. O dva dny později je pochována na hřbitově v Sceaux. Doktor Tobé v denním záznamu uvádí: Choroba: aplastická zhoubná anémie rychlého průběhu s horečkami. Kostní dřev nereagovala. Patrně byla porušena dlouhodobým působením radiových paprsků (Curieová, 1964).

Abnormální symptomy, krevní nálezy odlišné od těch, které bývají při zhoubných anémiích, odhalují skutečného viníka: radium. Paní Curieovou můžeme počítat mezi oběti dlouhodobého radioaktivního záření, které objevila se svým manželem, napsal profesor Regaud (Curieová, 1964).

V dubnu roku 1995 byly Mariiny ostatky společně s manželovými převezeny a uloženy do pařížského Pantheonu. Toto místo je určeno výjimečným osobnostem. Marie tak byla opět první žena, které se dostalo takové pocty i po smrti, díky jejím úspěchům ve vědě (South African Radiographer, 2011; Waclawek a Waclawek, 2011).

Po této významné ženě byl pojmenován i chemický prvek o protonovém čísle 96. Název prvku je curium a jeho chemická značka je Cm (Kašpar, 2011).

1.2 Základy radiobiologie

1.2.1 Jednotky v radiobiologii

Aktivita

Aktivitou se rozumí počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Vyjadřuje množství rozpadajících radionuklidů. Aktivita má jednotku s^{-1} , jejíž název zní becquerel- Bq. V praxi jsou především využívány i jednotky ve stovkách MBq (Kupka et al., 2007).

Starší jednotka aktivity byla curie- Ci, aktivita jednoho gramu radia. 1 Ci je $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq (Rosina et al., 2006).

Dávka D

Dávka, neboli také absorbovaná dávka, je energie ionizujícího záření absorbovaná v látce. Její jednotkou je [J/kg] s názvem Gray- Gy.

Ekvivalentní dávka H_T

U ekvivalentní dávky se jedná o součin střední absorbované dávky v orgánu či tkáni D_{TR} a radiačního váhového faktoru w_R . Hodnota w_R má hodnotu 1 pro beta a gama záření a hodnotu až 20 u záření alfa a případně i neutronů. Ekvivalentní dávka má jednotku [J/kg] s označením sievert- Sv.

Dávkový ekvivalent H

Je dán součinem absorbované dávky v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele Q. Činitel Q má odlišné hodnoty v závislosti na druhu záření. Pro záření beta a gama má hodnotu 1. Pro záření alfa, popřípadě i neutrony se hodnota pohybuje až kolem 20. Dávkový ekvivalent má jednotku [J/kg] s označením Sievert- Sv.

Dávkový příkon

Dávkový příkon, neboli přírůstek dávky za jednotku času. Jednotkou je [Gy/s]. V praxi se běžně používají mGy/h i μ Gy/h.

Efektivní dávka E

Efektivní dávka udává součet součinů ekvivalentních dávek H_T a tkáňových faktorů w_T . Jednotkou je [J/kg] opět s názvem sievert- Sv (Kupka et al., 2007).

Tabulka 2: Tkáňové váhové faktory w_t

Tkáň nebo orgán	w_t
Gonády	0,08
Kostní dřev, střevo, plíce, žaludek, mléčná žláza	0,12
Močový měchýř, jícn, játra, štítná žláza	0,04
Kůže, povrch kostí, mozek, slinné žlázy	0,01
Zbytek těla	0,12
Celé tělo	$\Sigma w_t = 1$

Zdroj: Vyhláška č. 422/2016 Sb.

1.2.2 Faktory ovlivňující radiační poškození

Při manipulaci s radioaktivními prvky, či při radiační nehodě může dojít k celotělovému, lokálnímu ozáření osob. Dále může dojít k povrchové kontaminaci kůže nebo dokonce k vnitřní kontaminaci radionuklidy. V případě vnitřní kontaminace se jedná o vdechnutí nebo požití.

Z pohledu ionizujícího záření a biologického účinku na člověka je základní veličinou obdržená dávka záření. Existuje více typů záření, které se však od sebe liší v mnoha ohledech.

Záření gama, je takové záření, které má velkou pronikavost. Pokud dojde k ozáření tímto typem, tak výsledkem je celotělové nebo lokální ozáření. Následně podle výše dávky záření vznikají nemoci z ozáření. Také na průběh onemocnění má vedle dávky záření také vliv rozsah ozářeného těla. Dávkový příkon je také významný. Pokud je lidský organismus ozařován frakcionovaně, tak škodlivý efekt záření je menší. Velmi podobné zákonitosti jsou i u poškození kůže. Pokud je ozařovaná plocha větší, tak s tím jsou spojené horší následky (Štětina, 2014).

Záření beta je záření s nižší pronikavostí, než je tomu u předchozího gama záření. Je známo, že proniká v tkáních pouze do hloubky několika centimetrů. S tímto je spojeno, že je nejzávažnější z pohledu kontaminace kůže a vzniku radiační dermatitidy. Toto záření především poškozuje bazální- základní vrstvu kůže. Následně vznikající poškození, poranění mají podobný charakter jako termické popáleniny (Štětina, 2014).

Alfa záření má velmi malou pronikavost. U tohoto záření není poškozena bazální vrstva kůže, jelikož je toto záření zachyceno již vrstvou mrtvých buněk. Nevzniká ani radiační dermatitida. Toto alfa záření má význam hlavně v souvislosti s vnitřní kontaminací (Štětina, 2014).

1.2.3 Vnitřní kontaminace a vnější ozáření

V případě například úniku radioaktivních látek do okolí může působit na obyvatele vnější ozáření i vnitřní kontaminace. Pokud se jedná o vnější, tak je nejnebezpečnější gama záření a rentgenové záření, ale do nějaké míry i beta záření. Způsob, jakým je osoba vnitřně kontaminována je buď inhalace, ale zároveň se může také jednat o ingesci, kontaminace rány, či nitrožilně. V případě vnitřní kontaminace je alfa záření společně s neutronovým nejnebezpečnější (Štefan a Hladík, 2012).

1.2.4 Ochrana před vnitřním ozářením

Při práci s radioaktivními látkami, je důležité dodržovat některá opatření. Mezi tato opatření patří používání osobních ochranných pomůcek. Jako jsou gumové rukavice, ochranný oděv, brýle. Zároveň tyto pomůcky musejí být svlékány velmi opatrně, abychom zamezili následné kontaminaci. Dále by osoby měly používat odpovídající ochranné pracovní pomůcky. Těmito pomůckami se rozumí pinzety, kleště, stínící ochranné obaly. V žádném případě bychom neměli brát radionuklidy do ruky a nepipetovat ústy. Dále pokud se jedná o činnosti, při kterých mohou radioaktivní látky uniknout do ovzduší, měly by se tyto činnosti vykonávat v uzavřených prostorech. Není dovoleno v kontrolovaném pásmu jíst, či kouřit. Pokud dojde ke kontaminaci, ať už vnitřní či povrchové, je nutné provést okamžitě dekontaminaci (Kuna et al., 2005).

1.2.5 Ochrana před vnějším ozářením

U vnějšího ozáření spočívá ochrana především ve zvětšení vzdáleností od zdroje záření. Abychom mohli přes tuto vzdálenost manipulovat s těmito zdroji, tak používáme kleště, pinzety i dálkové manipulátory. Dále ochrana spočívá ve zkracování doby expozice. Je důležité pracovat bez časových ztrát a předem si například nacvičit potřebné operace s radioaktivními látkami. V poslední řadě je důležité stínění zdroje i pracovníka, jelikož pronikavost záření záleží na jeho druhu, energii záření, ale také na druhu a tloušťce použitého stínícího materiálu. U beta záření postačí tenký kryt z hliníku, či organického skla. V případě gama záření se používají látky s vysokým atomovým číslem. Jedná se především o olovo a železo (Kuna et al., 2005).

1.2.6 Biologické účinky ionizujícího záření

O škodlivých účincích ionizujícího záření působící na člověka sahá již ke konci 19. století, kdy byly objeveny rentgenovy paprsky a přírodní radioaktivita. Více se získávaly poznatky o této problematice a byla postupně zaváděna pravidla týkající se ochrany před ionizujícím zářením. Snahou je snižovat nežádoucí vliv účinků na zdraví člověka (Koranda et al., 2014).

Nejdůležitější poškození v buňce jsou poškození v DNA. Postradiační změny, které vznikly na molekule DNA, závisí na velikosti molekuly, struktuře a konformaci. Ozáření vyvolá takové zlomy, které mohou postihnout oba řetězce dvojšroubovice DNA. Dochází tak k fragmentaci molekuly na více úseků. Dále po ozáření v buňkách dochází ke zpomalení syntézy vlastní DNA. Tento děj se děje proto, jelikož buňka reaguje na poškození genetického kódu a její snahou je zamezit přenos případných genových defektů. Radiační poškození DNA je do značné části reverzibilní (Kuna et al., 2005).

Reparační děje částečně odstraňují následky ozáření. Díky enzymatickým procesům na molekulární úrovni reparací jsou napravovány poškozené struktury DNA. Tyto opravné reparace probíhají jen určitou omezenou rychlostí, a tak biologický účinek závisí na dávkovém příkonu. Pokud je celková absorbovaná dávka stejná, tak se některé biologické účinky snižují s klesajícím dávkovým příkonem (Koranda et al., 2014).

Velmi vnímavé ke vzniku krátkodobých klinických příznaků (radiosenzitivní) jsou tkáně s velkým počtem rychle se dělících, ale zároveň málo diferencovaných buněk

jakými je kostní dřev, samčí gonády, střevní epitel. Oproti těmto tkáním jsou i tkáň radiorezistentní. Tyto tkáň mají buňky málo se dělící nebo dokonce nedělící se a dále jsou buňky diferenciované. Jsou to například nervové buňky a myokard (Kupka et al., 2007).

1.2.7 Účinky deterministické a stochastické

Účinky ionizujícího záření lze rozdělit na deterministické a stochastické. Toto rozdělení má značně praktický význam z pohledu radiační ochrany. Mezi deterministické účinky se například řadí akutní nemoc z ozáření, lokální účinky na kůži. Zdrojem poznání těchto účinnů jsou radiační nehody především se zdroji ionizujícího záření. Stochastické účinky, kam se řadí nádory a genetické změny, jsou i v dnešní době stále sledovány u japonského obyvatelstva, které v postižených městech žilo. Zároveň jsou tyto účinky sledovány u pacientů v mnoha zemích, kteří jsou léčeni pomocí ionizujícího záření (Koranda et al., 2014).

Stochastické účinky

Pro stochastické účinky je charakteristické, že jsou bezprahové. Již jedna ionizace může způsobit poškození DNA a poškození s určitou pravděpodobností není správně opraveno. Pokud se dávka zvyšuje, tak se zvyšuje i pravděpodobnost stochastických změn s tím, že se nezvyšuje jejich závažnost. Účinek opakujících se dávek je aditivní, tedy jednotlivé dávky se neustále sčítají. Dále je pro tyto účinky charakteristické, že u každého jedince nelze s určitostí říci, zda se u něj účinky projeví. Také není možné rozpoznat, zda se jedná o následek ozáření či nikoliv. Poškození vznikající jako následek z ozáření se neliší od onemocnění, která se objevují a vznikají v neozářené populaci. Mezi tyto účinky patří vznik zhoubných nádorů, a genetické účinky. Zhoubnými nádory jsou například leukémie, sarkom (Kupka et al., 2007).

Deterministické účinky

Pro deterministické účinky je typické, že vznikají až po překročení dávkového prahu, který je u každé tkáň odlišný. Zároveň s rostoucí nadprahovou dávkou stoupá i závažnost poškození. Účinek je patrný krátce po ozáření v průběhu několika dnů či týdnů. Pokud je dávka taková, že nastane maximální účinek, projeví se to nekrotizací tkáň. Může nastat i situace, že u jednotlivých jedinců se dávkový práh liší, pak

s navyšující se dávkou se zvyšuje procento postižených jedinců. Samozřejmě, že může dojít k obnově poškozených tkání, kdy mírně zasažené tkáně se mohou obnovit v poměrně krátké době. Mezi deterministické účinky se řadí akutní nemoc z ozáření, akutní lokalizované poškození, katarakta, útlum krvetvorby, sterilita a jiné. Ochrana přetěmito deterministickými účinky je udržení dávky záření pod daným prahem (Koranda et al., 2014).

1.2.8 Akutní nemoc z ozáření

Akutní nemoc z ozáření vzniká při jednorázovém ozáření celého těla nebo jeho převážné části dávkami ionizujícího záření, které jsou vyšší než 0,7 Gy. Dávka může být způsobena buď vnějším zdrojem, vnitřní kontaminací, nebo i oběma způsoby. Tato nemoc zahrnuje tři základní syndromy. Výskyt těchto syndromů je závislý na absorbované dávce ionizujícího záření. Jedná se o syndrom dřeňový, gastrointestinální a neurovaskulární (Matoušek et al., 2007; Karhan et al., 2014).

U každého z těchto syndromů rozpoznáváme tři časové fáze. Nejdříve po ozáření se objevuje prodromální fáze, nebo-li fáze počátečních příznaků nemoci. Navazuje na ni latentní fáze, která se vyznačuje absencí projevů příznaků. Závěrečnou fází je klinická manifestace akutní nemoci z ozáření. Pokud nedojde ke smrti, tak navazuje rekonvalescence postiženého. V jakém časovém rozmezí, jaká bude doba trvání příznaků i následků je závislé na celkové absorbované dávce záření a na individuální citlivosti jedince k záření. Platí, že čím vyšší je dávka záření, tím se zkracuje doba jednotlivých fází akutní nemoci z ozáření. U vysokých dávek 100 Gy fáze splývají a jsou těžko od sebe rozeznatelné (Matoušek et al., 2007; Karhan et al., 2014).

Prodromální fáze akutní nemoci z ozáření nastupuje relativně rychle v podobě nevolnosti, pocitu na zvracení, zvracení, bolesti hlavy, průjmem a celkovou slabostí. Příznaky se mohou objevit v rozmezí již několik minut, až šesti hodin od ozáření. Příznaky netrvají více jak dva dny po expozici, ale stále může být přítomna slabost až malátnost. Právě rychlost nástupu, doba trvání a intenzita prodromálních příznaků může sloužit jako hrubým ukazatelem stupně radiačního poškození (Rosina, 2013).

Latentní fáze, tedy fáze, kdy se neprojevují klinické příznaky. Její doba trvání opět závisí na dávce záření. Postižení se cítí lépe, příznaky prvního období ustupují. Nejdelší je u dřeňové formy v rozmezí několika týdnů, u gastrointestinální formy jsou to řádově dny a nejkratší trvání má u neurovaskulární formy (Rosina, 2013).

V manifestní fázi se již objevují klinické příznaky spojené s orgánovými soustavami, které jsou poškozené. Dochází tak k úplnému rozvoji onemocnění. Člověk také zasažený si může stěžovat na únavu, třesavku, krvácení z dásní, či nosu. Dále je zužován průřez, v případě gastrointestinálního syndromu, a má větší náklonnost k rozvoji infekčního onemocnění u dřeňového syndromu (Navrátil, 2008).

U postižených, kteří nebyli vystaveni smrtelné dávce záření, nastupuje pozvolná rekonvalescence. V závislosti na postižení dochází k částečnému, či úplnému uzdravení. Zdravotní stav nemocného se zlepšuje, pozvolna se upravuje tvorba nových krevních elementů. Některé obtíže mohou trvat několik měsíců i let. Osoby, které přežily akutní nemoc z ozáření, více v budoucnosti trpí na výskyt leukémií a jiných nádorových onemocnění. Některé ženy zůstávají neplodné a mají větší pravděpodobnost potratů (Rosina, 2013).

Tabulka 3: Časový a dávkový profil jednotlivých forem akutní nemoci z ozáření

Forma akutní nemoci z ozáření	Prahová dávka	Prodromální fáze	Latentní fáze	Manifestní fáze
Dřeňová	1 Gy	30 minut - 48 hodin	2. den - 3. týden	2. den - 4. týden
Gastrointestinální	8 Gy	10 minut - 48 hodin	3.- 5. den	5.- 8. den
Neurovaskulární	30 Gy	5 a více minut	2. den nebo chybí	2.- 4. den

Zdroj: Matoušek, et al., 2007

Dřeňový syndrom

U lidí po expozici od 0,7 Gy se objevuje tato dřeňová forma akutní nemoci z ozáření. V závislosti na dávce se objevuje útlum krve tvorby. Může to vést k úbytku všech krevních elementů, či malou až nulovou tvorbou nových krevních buněk. Je známo, že hlavní buňky v krve tvorných tkáních jsou kmenové buňky krve tvorby. Prokázány jsou v kostní dřeni. Nejvíce krve tvorné kostní dřeni je umístěno v páteři a zádočných oblastech žebere a pánve. Pokud tedy dojde k ozáření těchto oblastí, tak to má nejvyšší účinek na rozvoj dřeňového syndromu. Podle obdržené dávky záření v rozmezí

1-8 Gy dochází k postupnému ubývání počtu krevních částic všech krevních řad, které jsou v kostní dřeni. Nezralé a kmenové buňky v kostní dřeni reagují na ozáření exponenciálně. Nejlepší ochranou před rozvojem tohoto dřevného syndromu je stínění krvetvorné kostní dřeni (Matoušek et al., 2007).

Prodromální symptomy se vyznačují pocitem na zvracení, zvracení a průjem. Dokonce díky četnosti zvracení můžeme odhadnout absorbovanou dávku záření. Je to pouze orientační. Další období- latence, je poměrně dlouhé. Klinické příznaky se většinou projevují za 21- 30 dní po ozáření a jejich trvání je kolem dvou týdnů (Matoušek et al., 2007; Karhan et al., 2014).

Následky projevující se u tohoto dřevného syndromu zahrnují porušení funkce imunitního systému, nárůst infekčních komplikací, krvácení s chudokrevností doprovázené špatným hojením ran. Kvůli poškození cévních výstelkových buněk, které potlačují opětovnou obnovu cévního systému poraněných tkání, se rány pravděpodobně nemohou tak dobře zahojit (Matoušek et al., 2007).

U přerušovaného ozáření vedoucí k útlumu krvetvorby, je těžké odhadnout dobu, za kterou se příznaky začnou objevovat. Klinický obraz bude podobný jako u jednorázově ozářených. Musíme dopředu uvažovat, že bude ovlivněn velikostí dávek jednotlivých frakcí, časovým odstupem mezi nimi a v neposlední řadě dávkovým příkonem (Matoušek et al., 2007).

Léčba u ozáření nižšími dávkami se podávají růstové faktory krvetvorby. U vysokých dávek, nad 8 Gy, je vhodné podstoupit transplantaci kostní dřeni. Jelikož mají pacienti sníženou imunitu kvůli malému počtu bílých krvinek, musejí být izolováni v bezpečném prostředí. Bezpečným prostředím se rozumí bez přítomnosti mikrobů a za použití širokospektrých antibiotik. Letální dávka LD_{50/60} je přibližně 3,5-4 Gy. Tedy smrt nastává u 50 % ozářené populace do 60 dní po expozici, pokud není zahájena potřebná léčba (Matoušek et al., 2007; Pelclová et al., 2014).

Střevní (gastrointestinální) syndrom

Aby gastrointestinální forma akutní nemoci z ozáření vznikla, je potřeba větší dávka ionizujícího záření než u předešlé dřevné formy. Je to způsobeno tím, že výstelkové buňky střevní sliznice jsou více odolné. Střevní syndrom se projevuje, pokud dojde k jednorázovému zevnímu ozáření o dávkách větších než 8 Gy. Pokud je ozáření frakcinované nemůže tento syndrom vyvolat. Zároveň i při těchto ozářeních je stav

vážný, neboť dochází k útlumu krvetvorby a společně se tak projevuje se střevní formou akutní nemoci z ozáření (Matoušek et al., 2007).

Klinické příznaky se projeví dříve než u dřeňové formy akutní nemoci z ozáření. Několik dnů až týden je bezpříznaková fáze, následuje velká ztráta tekutin, krvácení ze zažívacího traktu, průjmy. Dochází také k porušení funkční bariéry ve střevech, která brání vstup mikrobů. Je to způsobeno úhynem buněk vystýlající střevní sliznici. Tenké střevo je nejvíce postiženo, protože zde probíhá nejintenzivnější buněčný obrat. Pozdní následky se mohou projevit srůsty, které mohou bránit průchodnosti střev, či větší náchylnost ke vzniku vředů (Matoušek et al., 2007; Karhan et al., 2014).

Bohužel je tato forma smrtelná. Neexistuje zatím léčba, která by gastrointestinálnímu syndromu zabránila. Problém je již u klinických příznaků, které nejsou jednoznačné pro tuto formu. Pacientům je podáváno dostatek tekutin, antibiotika k zabránění vzniku infekcí a samozřejmě je tlumena bolest (Matoušek et al., 2007).

Neurovaskulární syndrom

Neurovaskulární syndrom se projeví po expozicích vysokých dávek ionizujícího záření. Může se tak stát například při vojenských operacích s jadernými zbraněmi, nehodách v jaderných elektrárnách. Osoby, které by se nacházely v takové blízkosti, že by byly vystaveny takovéto vysoké dávce, by zemřely i v důsledku tlakových a tepelných efektů (Matoušek et al., 2007).

Tato forma se vyskytuje již při spodní hranici 30 Gy. Musíme rozlišovat z hlediska rozvoje nemoci, zda jsou poškozeny cévy nebo už centrálně nervová soustava. Již dávka 30 Gy má za následek poškození cév, ale pro nervovou složku je zapotřebí asi 100 Gy (Matoušek et al., 2007).

Během několika minut nastupuje prodromální fáze. Bezpříznaková fáze je velmi krátká, rozmezí je mezi několika hodinami až 1-3 dny. U velmi vysokých dávek prodromální fáze splývá s manifestní. Poškození cév se projeví výrazním otokem podkoží, jelikož krevní plazma unikla do tkání na podkladě zvýšení propustnosti vlásečnic a úbytku buněk vystýlající cévy. Následuje pokles tlaku, následně postižený přechází do šoku a smrti. U postradiačního poškození centrálně nervového systému dochází k úbytku myelinových pouzder nervových vláken a k otoku v oblasti cév bílé hmoty mozkové. U vysokých dávek dochází v manifestní fázi ke ztrátě vědomí, komatu a poté smrti. Mohou se v průběhu fází objevovat křeče podobné epileptickému záchvatu a lze naměřit i vysoký nitrolební tlak. I přes jistou smrt lékař může zvážit protiotokovou

léčbu a podávat látky ke zvýšení cévního tonusu (Matoušek et al., 2007; Karhan et al., 2014).

1.2.9 Laboratorní diagnóza akutní nemoci z ozáření

Laboratorní diagnostika této nemoci se především zakládá na vyšetření krevního obrazu. Za několik hodin po ozáření se z oběhu vytrácejí lymfocyty. Někdy je proto nazýváme jako biologické markery. Dalším důležitým krokem je průkaz povrchové kontaminace radiometrem, nebo v případě, že se jedná o vnitřní kontaminaci radionuklidy, tak probíhá měření radioaktivity v odebraných vzorcích. Jedná se především o vzorky krve, stolice a moči. Dále aby byl zvolen nejlepší postup léčby, je důležité také vyšetření kostní dřeně.

V případě biochemických testů, v nichž dochází ke změnám v důsledku akutní nemoci z ozáření, musíme tyto změny rozdělit na primární a sekundární. Primární změny jsou takové, které vznikají přímým důsledkem ionizujícího záření. Sekundární změny se objevují v důsledku změn organismu, především patofyziologických.

Existují i biodozimetrické testy, které citlivě reagují na dávku a také rozsah radiačního poškození. Například se pozoruje výskyt chromozomálních aberací v lymfocytech. Bohužel jsou tyto testy finančně nákladné, a proto v blízké budoucnosti nemůžeme očekávat jejich větší rozšíření (Navrátil, 2008).

1.2.10 Ostatní významné účinky ionizujícího záření

Dermatitida- radiační zánět kůže

Radiační zánět kůže je podobný popáleninám. Vzniká po jednorázovém ozáření dávkou vyšší než 3 Gy. Poškozuje bohužel hlubší části kůže a projeví se později než klasická popálenina. Velikost postižení závisí na dávce záření, typu záření, velikosti dávkového příkonu, velikosti ozářené oblasti a lokalizaci. V podpaždí, rozkroku a v kožních záhybech jsou projevy nemoci více znatelné (Matoušek et al., 2007).

Tabulka 4: Manifestace klinických známek radiační dermatitidy v závislosti na čase po ozáření a dávce

Příznak	Dávkový rozsah Gy	Čas nástupu dny
Druhotné zarudnutí kůže	3-10	14-21
Ztráta ochlupení, epilace	méně než 3	14-18
Suché šupinatění kůže	8-12	25-30
Vlhké šupinatění kůže	15-20	20-28
Tvorba puchýřů	15-25	15-25
Tvorba vředů	více jak 20	14-21
Odúmrť	více jak 25	více jak 21

Zdroj: Matoušek et al., 2007

Za několik dnů po ozáření se objevuje prvotní zarudnutí kůže, které trvá 3-5 dnů. Dále prvotní zarudnutí zmizí, je krátké bezpříznakové období, a pak nastává fáze suchého šupinatění kůže trvající nejvýše do 3. až 4. týdne po ozáření. Po této době se opět začíná objevovat druhotné zarudnutí kůže. Místo je na pohmat teplejší, bolestivé a oteklé. Další fází je vlhké šupinatění kůže vyskytující se nejdříve 4. týden po ozáření. Konečnou fází je fáze hojení. Dochází k obnově buněk pokožky, která začíná mezi 6. až 8. týdnem po ozáření. Pokožka je tenčí, k normálu se pomalu přibližuje za dva až tři měsíce po ozáření. U vyšších dávek nad 25 Gy může dojít až k odúmrťi kůže. Tato kůže se odloučí a vznikne vřed. Dokonce i po několika letech od ozáření vysokými dávkami může být kůže stále ztenčená, citlivější na mechanická poškození. Mohou se stále vyskytovat i kožní vředy (Karhan et al., 2014).

Radiační dermatitida se léčí konzervativně nebo chirurgicky. Konzervativní léčba zahrnuje tlumení bolesti pomocí analgetik, chlazení postižené části. Snaha je tlumit rozvoj zánětu. Pro efektivnější hojení se používají bandáže potřené antibiotiky. Chirurgická léčba se provádí pomocí kožních štěpů, které se transplantují na ozářené

místo. V některých případech je postižení tak rozsáhlé, že je nutné přistoupit k amputaci (Matoušek et al., 2007).

Následkem dlouhodobé expozice ionizujícímu záření vzniká i chronická radiodermatitida. Než se projeví, může trvat i několik desítek let. Poté je nejvíce lokalizována na prstech a hřebech rukou. Kůže je ztenčená, bez ochlupení a má červenofialovou barvu, dále se vyskytují nehojící se ulcerace a změny na nehtech. Jsou postiženy osoby, které například pracují v oblasti s ionizujícím zářením již dvacet let (Machovcová, 2014).

Tabulka 5: Časový průběh jednotlivých stupňů radiační dermatitidy

Stupeň radiační dermatitidy	I. Lehký stupeň (3-12 Gy)	II. Středně těžký stupeň (12-20 Gy)	III. Těžký stupeň (20-25) Gy	IV. Velmi těžký stupeň (Nad 25 Gy)
Prvotní zarudnutí kůže	Nepřítomen nebo trvá několik hodin	Trvá několik hodin 2.-3. den po ozáření	3.-6. den po ozáření	Splývá s fází druhotného zarudnutí kůže
Bezpriznakové stádium	Do 15.-20. dne po ozáření	Do 10.-15. dne po ozáření	Do 7.-14. dne po ozáření	Nepřítomna
Druhotné zarudnutí kůže	Prosté zarudnutí	Zarudnutí, otok, puchýře	Zarudnutí, otok, puchýře, vředy a projevy infekce	Jako vystupňovaný III. stupeň s krvácením a odúmrťí kůže
Výsledek	Zhrubnutí kůže	Ztenčení vrstev kůže, vředy	Zajizvení, vředy	Opakovaně se vyskytující vředy

Zdroj: Matoušek et al., 2007

Radiační katarakta

Může se vyskytnout po jednorázovém ozáření oka nebo po opakovaných expozicích. Po jednorázovém či frakcinovaném ozáření oka s prahovou dávkou vyšší než 0,5 Gy dochází k zákalu oční čočky. Poškozují se epiteliální buňky, které jsou považovány za jedny z nejcitlivějších buněk k účinkům ionizujícího záření. Doba latence do vzniku prvních zákalů trvá minimálně šest měsíců. Závažná forma zákalů, kdy je zapotřebí implantovat umělou čočku, se vyvíjí i několik let. Pokud se osoba nachází v podmínkách několikaleté profesionální expozice frakcinovaným dávkám, může doba latence trvat i dva roky a více (Zakharov, 2014).

Poškození embrya, plodu

Jak velké a závažné bude poškození plodu, či embrya závisí na absorbované dávce v plodu, ale také na době kdy ozáření proběhlo. Tedy době, která uplynula mezi oplodněním a ozářením. Pokud dojde k ozáření v prvních dvou týdnech těhotenství, kdy počet buněk v zárodku je malý a zároveň jejich povaha ještě není zcela diferenciována, tak s určitou pravděpodobností dojde ke smrti zárodku. Když ale embryo přežije, přežije bez dalších komplikací. V dalším případě nenastane uhnízdění oplozeného vajíčka. V následujících týdnech od 3. do 8. týdne, při dávkách vyšších než 100 mGy v plodu se mohou objevit abnormality různých orgánů, zpomalení růstu, katarakta a jiné. Mezi 8. - 15. týdnem, kdy dávka v plodu je 1 Gy, má za následek snížení inteligence narozeného jedince až o 30 bodů. Pokud dojde k ozáření kdykoli během těhotenství, je to spojeno s rizikem zhoubných nádorů a leukémie. U narozeného dítěte se poté mohou tato onemocnění spontánně objevit. V současné době se odborníci shodují, že biologické účinky ozáření plodu jsou jak charakteru deterministického, tak charakteru stochastického. V prvním případě, je zapotřebí překročit dávkový práh, aby se abnormality projeví. V tomto případě se práh pohybuje kolem 100 mGy. V druhém případě, kdy je bezprahový výskyt nádorů u narozeného dítěte po předcházejícím ozáření in utero (Koranda et al., 2014).

Poruchy fertility (plodnosti)

Muži jsou více vnímavější vůči poruchám fertility než ženy. Po frakcinovaném ozařování již po dávkách 0,1 - 0,3 Gy se objevila u mužů přechodná oligospermie. U vyšších dávek 0,5 - 2 Gy se objevuje přechodná aspermie. Pokud jsou dávky ještě vyšší, řádově nad 3 Gy, může to vést i k trvalé aspermii.

U mužů, vzhledem k tomu, že buňky produkující pohlavní hormony zůstávají nedotčeny, sekundární pohlavní znaky, potence i libido jsou i nadále zachovány. Naopak u žen, kterým s věkem počet ovariálních folikulů klesá, tak jsou více vnímavější starší ženy na ozáření než v mladším věku. Pokud se vystavily dávce kolem 3 Gy a více, hrozí sterilita ženy. U takto postižených žen se objevuje předčasné klimakterium.

K vyšetřovacím metodám se řadí vyšetření pomocí spermioqramu, který se indikuje především co nejdříve. Tímto je snaha získat výchozí hodnotu. Během 6 - 8 týdnů nastane úbytek spermií po jednorázovém ozáření. Zároveň je nutné během tohoto období vyšetření opakovat. Pokud dojde k přechodné aspermii, tak regenerace může trvat 1 - 3 roky (Pelclová et al., 2014).

1.3 Informace o prvcích, se kterými pracovala Marie Curie Skłodovská

1.3.1 Smolinec

Název smolinec z historického hornického významu v minulosti označoval uraninit- UO_2 (oxid uraničitý) vyskytující se v rudní žíle, kde se již nenacházela žádná stříbrná mineralizace. Horníci tedy měli „smůlu“. Jeho barva je černá, ocelově šedá, hnědavě černá. Je neprůhledný. V tenkých vrstvách může prosvítat zeleno- šedě, tmavě hnědě nebo žlutavě. Je silně radioaktivní a není luminiscenční. Z chemického hlediska a složení se jen vzácně nachází čistý, jelikož obvykle obsahuje další příměsi, prvky a produkty radiogenní přeměny jako je například polonium, či radium. Z prvků jáchymovský smolinec obsahoval kromě vysokého obsahu uranu například síru, vápník, hořčík, železo, olovo, mangan a jiné prvky (Kašpar, 2011; Vobecký, 2011).

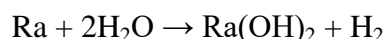
1.3.2 Radium

Charakteristika

Radium (Ra) je radioaktivní chemický prvek, nejtěžší z kovů alkalických zemin. Bylo pojmenováno z latinského slova- radius, což v překladu znamená paprsek. Podle svých vlastností je zařazeno do 7. periody a 2. skupiny v periodické tabulce prvků. Radium bylo objeveno roku 1898 manželi Curieovými a jejich asistentem Bémontem v odpadu jáchymovské továrny. Zásadní význam při objevu tohoto prvku právě měla

těžba uranových rud a výroba uranových barev v Jáchymově. Svými chemickými vlastnostmi odpovídá typickým kovům alkalických zemin, ale zároveň není obvyklé ho přiřazovat pro jeho nejcharakterističtější vlastnost- radioaktivitu a jeho výskyt do užší skupiny vlastních alkalických kovů (Kořínková, 2008; Radium, 2009-2017a).

Je to stříbrně bílý, lesklý radioaktivní kov, který se volně nevyskytuje v přírodě. Z kovů alkalických zemin je nejreaktivnější. Velice prudce reaguje kovové radium s vodou, kdy vzniká vodík a hydroxid radnatý.



Pokud by bylo dlouhodobě uchováváno, tak pouze pod vrstvou petroleje, či nafty, se kterými nereaguje. S kyslíkem i vodou reaguje za pokojové teploty (Kořínková, 2008; Radium, 2009-2017a).

Tabulka 6: Základní charakteristiky radia

Český název	Radium
Chemická značka	Ra
Protonové číslo	88
Relativní atomová hmotnost	226
Perioda	7
Skupina	II.A
Zařazení	Kovy alkalických zemin
Rok objevu	1898
Objevitel	Marie Curie Skłodovská
Teplota tání	700°C
Teplota varu	1140 °C

Zdroj: Radium, 2009-2017a

Je známo třicet čtyři izotopů radia. Všechny tyto izotopy jsou radioaktivní a jsou známé jejich poločasy rozpadu. Kromě radia-226, který má poločas rozpadu 1600 let a radia-228 s poločasem rozpadu 5,75 let mají izotopy krátký poločas rozpadu, v řádu jen několik týdnů. Radium-226 se v přírodě nachází díky neustálé tvorbě z uranu-238. Jedním z produktů radia je radon, což je nejtěžší vzácný plyn a je také radioaktivní. Tento plyn při dlouhodobém styku zvyšuje pravděpodobnost vzniku rakoviny plic. Gram radia-226 vydá za den $1 \cdot 10^{-4}$ mililitru radonu (Hanusa, 2012).

Ve sloučeninách tento prvek vystupuje ve II. oxidačním stupni jako radnatý kation Ra^{2+} . S výjimkou dusičnanu radnatého $\text{Ra}(\text{NO}_3)_2$ jsou radnaté soli velice málo rozpustné ve vodě. Jsou většinou bezbarvé, kdy výjimkou je žlutý chroman radnatý RaCrO_4 . Pokud jsou soli na vzduchu, tak modře světélkují a bezbarvý plamen zbarvují silně do karmínově červené (Radium, 2009-2017a).

Výskyt

V přírodě se radium vyskytuje velmi vzácně jako součást rud uranu. Je to především kvůli tomu, že všechny izotopy radia podléhají rychle dalšímu radioaktivnímu rozpadu. Lokality, kde se nachází vyšší obsah radia, jsou spojeny se zvýšeným výskytem rud uranu a thoria, a právě z těchto rud uranu je složitým postupem získáváno malé množství radia. Přibližně 330 mg radia je obsaženo v 1 tuně uranu. Radium se nachází i v důlních vodách uranových dolů, jako je tomu ve vodách čerpaných z příbramského ložiska uranové rudy. Dále se nachází i ve známých oblastech se zvýšeným obsahem radia v Koloradu, v oblasti Velkých jezer v Kanadě, v africkém Kongu, či v okolí českého Jáchymova (Kořínková, 2008; Radium, 2009-2017a).

Příprava

Radium v kovové formě bylo připraveno Marií Curie Skłodowskou a Andréem Debiernem až o několik let po jeho objevení, a to v roce 1910, elektrolýzou taveniny chloridu radnatého RaCl_2 . Na rtuťové katodě se prvek (radium) vyloučil ve formě amalgamu. Z toho amalgamu bylo radium získáno destilací ve vodíkové atmosféře. Později bylo kovové radium připraveno i jinými způsoby jakými jsou: termický rozklad azidu $\text{Ra}(\text{N}_3)_2$ a vakuovou redukcí oxidu radnatého RaO hliníkem za přítomnosti vysoké teploty $1200\text{ }^\circ\text{C}$ (Radium, 2009-2017a).

Využití

Dříve se radium používalo v medicíně, zejména pro léčbu rakoviny. Využívalo se radium-223, což je alfa zářič s poločasem rozpadu 11- 43 dnů. Následně však tento izotop byl nahrazen méně nákladným a silnějším kobaltem-60 nebo cesiem-137.

Když se radiové soli smísí s pastou sulfidu zinečnatého, tak alfa záření způsobí, že tato směs bude svítit. V minulém století se to hojně využívalo pro natírání číselníků a ručiček hodin. Během let 1913 až 1970 bylo vyrobeno několik milionů těchto číselníků potažené směsí radia-226 a sulfidu zinečnatého. Na počátku let 1930 však bylo zjištěno, že expozice radia představuje vážné nebezpečí pro zdraví. Mnoho žen, které pracovaly s touto luminiscenční barvou během let 1910 až 1920 zemřelo. Kvůli štětcům, které namáčely a následně rty upravovaly, aby měly jemné špičky na nanášení této luminiscenční barvy, tak požily značné množství radia. U těchto žen se objevila anémie a rakovina kostí, neboť stejně jako vápník nebo stroncium, tak i radium má tendenci se koncentrovat v kostech. V letech 1960, kdy byla rozpoznána vysoká toxicita tohoto materiálu, se použití pro tyto účely velmi omezilo (Hanusa, 2012).

Radiová horečka

Objev nového prvku z jáchymovského smolince zapříčinil, že radium bylo považováno za něco významného, co je používáno v lékařství k léčbě revmatických, zánětlivých i degenerativních nemocí. Jeho cena velmi rychle stoupala, i v závislosti na tom, že do začátku první světové války neměl Jáchymov ve světě konkurenci v těžbě smolince. Mnoho zboží bylo spojováno s radiem. V Jáchymově se dokonce pekli radiový chléb, byl k dostání nealkoholický nápoj Radiumperle, či radiové pivo-Radiumbier. V lékárně byla k dostání voda s obsahem radia určená k pití nebo ke koupeli. V Jáchymově byly zřízeny první radioaktivní lázně na světě a mnoho lidí tak toto nově vzniklé lázeňské město začalo navštěvovat. Mezi lety 1910 až 1912 byl vybudován velký hotel s názvem „Radium Kurhaus“, který využívala k léčebnému pobytu především zámožná klientela (Zeman, 2011; Horák, 2011).

Po první světové válce se v Československu i v zahraničí vyráběl kapesní Jáchymov, což byla nádobka, do které se vkládal síran radnatý společně s vodou. Bohužel i tato nádobka používaná k pitným kúrám zapříčinila to, že určité množství radia přecházelo do kostí a mělo to tedy spíše negativní dopad na lidský organismus. Případ Senátora kongresu Spojených států amerických, který tuto vodu popíjel a

následně po užívání uměle radioaktivní vody z kapesního Jáchymova zemřel, byl kapesní Jáchymov na rozdíl od Evropy ve Spojených státech zakázán (Horák, 2011).

Tabulka 7: Izotopy radia s jejich poločasy rozpadu

Hmotnostní číslo	Poločas rozpadu
202	0,7 milisekund
203	1,1 milisekund
204	59 milisekund
207	1,3 sekund
215	1,55 milisekund
221	28 sekund
222	38,0 sekund
223	11,7 dnů
224	3,64 dnů
225	14,9 dnů
226	1600 let
227	42,2 minuty

Zdroj: Kořínková, 2008

1.3.3 Polonium

Charakteristika

Polonium (Po) je stříbrně bílý kovový prvek šesté hlavní podskupiny, nacházející se na 84. místě v periodické tabulce prvků. Má více izotopů než kterýkoli jiný prvek a zároveň jsou všechny radioaktivní. Polonium bylo objeveno v roce 1898 Marií Curie Skłodowskou a jejím manželem Pierrem. Pojmenován byl po rodné vlasti Marie Curie Skłodowské- polonium. Tento chemický prvek se svými chemickými vlastnostmi

podobá telluru a vizmutu. Velice snadno se rozpouští v kyselinách. Soli polonia snadno podlehnou hydrolyze, a proto po rozpuštění ve vodě tvoří roztoky, především koloidní, hydroxidu $\text{Po}(\text{OH})_2$ (Patočka et al., 2007; Pouzar, 2010).

Výskyt

Tento prvek se v přírodě nachází ve velmi malém množství jako stopový kontaminant uranových rud. V jedné tuně se nachází méně než 0,1 mg. Některé izotopy tohoto prvku vznikají i jako produkt přirozeného radioaktivního rozpadu thoria, aktinia a uranu. Je známo 28 izotopů polonia, které jsou všechny radioaktivní (Pouzar, 2010).

Tabulka 8: Základní charakteristiky polonia

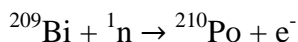
Český název	Polonium
Chemická značka	Po
Protonové číslo	84
Relativní atomová hmotnost	(209)
Perioda	6
Skupina	VI.A
Zařazení	polokovy
Rok objevu	1898
Objevitel	Marie Curie Skłodovská
Teplota tání	254°C
Teplota varu	962 °C

Zdroj: Polonium, 2009-2017b

Výroba a využití

Izotop polonium-210, dříve znám pod názvem Radium F, má ve svém atomovém jádře dohromady 210 částic, z nichž 82 je protonů a 128 neutronů. Tento izotop je alfa zářič s poločasem rozpadu 138 dní. Abychom získali větší množství tohoto izotopu, tak

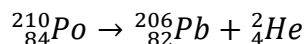
se nejčastěji připravuje v jaderném reaktoru, neboť je velmi obtížné jej získat extrakcí z přírodních rud. V reaktoru je proudem neutronů ozařován terčík z přírodního bismutu (Patočka et al., 2007; Pouzar, 2010).



(Patočka et al., 2007)

Velmi intenzivně byla studována i možnost využití polonia-210 v neutronových iniciátorech jaderných zbraní. Tyto studie probíhaly ve 40. letech dvacátého století. V současné době ve Spojených státech amerických vyrábí několik firem neutralizátory statické elektřiny (jsou to zařízení zabraňující usazování prachu), které obsahují izotop polonia-210. Jejich spotřeba polonia-210 je převážně kryta dovozem z Ruska, kdy měsíčně je dováženo 8 g (Pouzar, 2010).

Radioaktivní rozpad polonia-210 probíhá podle následující rovnice:



Z množství 10 mikrogramů PoCl_2 - chlorid polonia se během jedné sekundy uvolní 10^9 těchto jader. Aktivita odpovídající 10 mikrogramům PoCl_2 je tedy 1 GBq- giga Bequerel. Energie, která vzniká při rozpadu čistého izotopu je tak obrovská, že 0,5 g této látky se dokáže samovolně zahřát na teplotu 500 °C a zároveň se vyskytuje modré záření (Pouzar, 2010).

Alfa částici, která se uvolní při radioaktivním rozpadu atomového jádra, dokážeme zastavit pomocí listu papíru, oděvu. Částice zároveň nepronikne neporaněnou lidskou kůží. Zároveň její ionizační potenciál a s ním spojené biologické účinky jsou přibližně 20krát silnější než v případě gama záření, pokud je stejná úroveň absorbované energie. Pokud tedy někdo chce využít alfa zářič k usmrcení, musí ho daná osoba pozřít, vdechnout, či si ho nechat aplikovat injekcí (Pouzar, 2010).

Toxicita polonia-210

Pokud člověk požije polonium-210, tak 50-90 % je zachyceno v trávicím traktu a následně je vyloučeno stolicí. Zbylá část je vstřebána do krve, kde je zachyceno v erytrocytech- červených krvinkách. Prostřednictvím erytrocytů tak dochází k rozšiřování polonia-210 do měkkých tkání. Nejvyšší koncentraci izotopu můžeme následně objevit v játrech (30%), ledvinách (10%), v kostní dřeni (10%), slezině (5%). Zbylá procenta prvku (45%) jsou rozptýlena po celém organismu. Biologický poločas,

neboli doba za kterou se z organismu vyloučí polovina absorbované látky se pohybuje kolem 30-50 dny (Pouzar, 2010).

Polonium se částečně vyloučí také močí. Poškozuje tedy ledviny tím, že je jím vyvolána degenerace tubulů a následně způsobí nekrózu ledvinných buněk podobně, jako je tomu u uranu. Podáváním chelatačních činitel lze dosáhnout urychleného vylučování polonia z organismu. Mohou se například použít činidla 2,3-dimerkaptopropan-1-olu, 2,3-dimerkaptopropan-1-sulfonátu, N,N'-di-(2-hydroxyethyl) ethylenediamine-N,N-bis-karbodithioátu (Patočka et al., 2007).

Polonium v cigaretách

Již z šedesátých let minulého století je známo, že cigarety také obsahují značné množství polonia. Není zcela známo, jak se tento prvek do tabáku dostane, ale je zřejmě výsledkem přeměn izotopu uranu U-238 v uran-radiové rozpadové řadě. Zvýšený obsah polonia v tabáku zřejmě souvisí s fosfátovými hnojivy, kterými se uměle přihnojovaly rostliny, neboť uran se váže na fosfáty. V jedné cigaretě množství polonia zhruba odpovídá radioaktivitě 16,6 mBq. Nejsou ohroženi jenom kuřáci, protože většina polonia je propouštěno i přes cigaretové filtry, ale i nekuřáci pohybující se ve společnosti kuřáků (Patočka et al., 2007).

Tabulka 9: Poločasy rozpadu nejvýznamnějších radioizotopů polonia

Izotop polonia	Poločas rozpadu
206	8,8 dnů
207	5,8 hodin
208	2, 98 let
209	102,0 let
210	138,83 dnů
211	0, 51 sekund
212	0,29 mikrosekund
213	4,0 mikrosekund
214	163, 7 mikrosekund

Zdroj: Patočka et al., 2007

2 CÍL PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA

2.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je především poskytnout ucelený přehled o významné vědkyni 19. a 20. století Marii Curie Skłodowské, která objevila společně s manželem Pierrem Curie prvky polonium a radium. Zmapovat její výjimečný život a vědeckou činnost, které věnovala celý svůj život. Dále se práce zabývá akutní nemocí z ozáření, a to především z hlediska jejího možného způsobení expozicí poloniem.

Cíle práce:

C1- Zmapovat život a vědeckou činnost paní Curie.

C2- Popsat příčiny a následky akutní nemoci z ozáření.

2.2 Výzkumná otázka

K této práci byla stanovena výzkumná otázka:

Otázka - Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc z ozáření?

3 METODIKA

Hlavní metodikou této diplomové práce je studium publikované literatury, dále odborných článků a internetových zdrojů. Odborné články týkající se Marie Curie Skłodowské jsou z větší části ze zahraničních odborných časopisů zabývajících se například fyzikou, chemií a podobným odvětvím. V českém jazyce není mnoho odborných článků a jsou převážně zastaralé. Dále měl být stanoven odhad, jaké množství polonia by musela Marie Curie izolovat a inkorporovat, aby to bylo dostatečné k akutní nemoci z ozáření.

K zodpovězení otázky Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc z ozáření?, jsem především využívala články v odborných časopisech. Informace z článků jsem čerpala převážně prostřednictvím Národní technické knihovny v Praze, z obsáhlé publikace o Marii Curie Skłodowské, autobiografických poznámek, internetových stránek týkajících se Nobelové ceny. Také jsem oslovila prostřednictvím emailové pošty paní Mgr. Emilii Těšínskou z Akademie věd, pana doc. Ing. Miloslava Pouzara, Ph.D. působící na Univerzitě Pardubice, pana Mgr. Martina Šedu, Ph.D. působící na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích. Dále jsem kontaktovala i Muzeum Marie Curie Skłodowské ve Varšavě a následně ho i osobně navštívila, a tak díky této návštěvě jsem mohla získat lepší povědomí.

Do druhé části této diplomové práce jsem nejdříve zahrnu i odhad smrtelné dávky polonia-210. Aby bylo zřejmé, jak malé množství postačí k usmrcení dospělé osoby. Dále jsem do práce zahrnu i celosvětově známý případ bývalého ruského agenta Alexandra Litviněnka. Právě tento muž byl v roce 2006 zavražděn poloniem-210 a vědci se začali více zajímat o tento nebezpečný prvek. Smrt Alexandra Litviněnka a fyzikální vlastnosti, předpoklady mi tak umožnily odhadnout letální dávku polonia-210.

Dále jsem prostřednictvím odborných článků zjišťovala, zda významná vědkyně 19. a 20. století vůbec mohla za celý svůj život a práci v laboratoři přijít do kontaktu s tak koncentrovaným poloniem- 210, aby jí způsobilo smrt.

Ve výsledkové části jsem se zabývala i extraktem, který Marie Curie Skłodowská vyrobila. Na základě získaných informací jsem tedy mohla výpočtem získat přibližnou koncentraci extraktu a následně množství polonia-210, se kterým by tato vědkyně musela pracovat a následně inkorporovat, aby zemřela na následky z akutní nemoci z ozáření.

K celkovému pohledu a také zodpovězení otázky mi přispěly i informace týkající se bezpečnostních a ochranných opatření v době, kdy pracovala tato vědkyně na objevení prvků polonia, radia, ale i v následujících letech.

Poslední oblastí, kterou jsem se také v této diplomové práci zabývala se týká onemocnění. Onemocnění, které pravděpodobně bylo spojené s dlouholetou prací v laboratoři a převážně s radioaktivními prvky.

4 VÝSLEDKY

4.1 Odhad smrtelné dávky polonia-210

Abychom mohli odhadnout smrtelnou dávku polonia-210, která postačí k usmrcení dospělé osoby, je důležité si na začátek shrnout několik skutečností. Je velmi složité odhadnout smrtelnou dávku polonia-210. Musíme si uvědomit, že velmi záleží na způsobu podání látky. Zda je inhalována, podána injekčně pod kůži nebo je kůže následkem poranění porušena a polonium-210 vnikne do těla tímto způsobem. Jako z nejvíce pravděpodobných se jeví ingesce. Zároveň bychom mohli do odhadu zahrnout i vstřebávání, jelikož při ingesci se vstřebává pouze 10 % polonia-210 a zbytek, tedy 90%, je vyloučen stolicí, močí z lidského organismu (Pouzar, 2010). Také je rozdílné, zda postižená osoba umře za několik měsíců v závislosti se smrtelnou dávkou, která jí byla podána na selhání nějakého orgánu, nebo osoba umře za výrazně kratší dobu. Řádově během tří týdnů na akutní nemoc z ozáření, jako tomu bylo u bývalého ruského agenta Alexandra Litviněnka.

Pokud se jedná o celotělové vnější ozáření, tak střední smrtelná dávka se pohybuje v rozmezí 4 - 5 Sv. Tedy přibližně $LD_{50}=4,5$ Sv. Díky dávkovému koeficientu a konceptu efektivní dávky tedy lze vypočítat smrtelnou dávku poloniem-210. V případě ingesce je dávkový koeficient polonia-210 $1,2 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq (Institute of Radiation Protection, 2007). Aby bylo zřejmé, co toto číslo vystihuje, tak v tomto případě se jedná, že 1 Bq způsobí efektivní dávku o velikosti $1,2 \cdot 10^{-6}$ Sv. Dále pokud specifická aktivita polonia-210 je $166 \cdot 10^{12}$ Bq/g (Polonium-210, 2010), tak pro tyto hodnoty po vypočtení vychází střední smrtelná dávka $2,26 \cdot 10^{-8}$ gramu a pro lepší přehlednost převedeno na 0,02 mikrogramu. Ale pouze za předpokladu, že se z gastrointestinálního traktu vstřebává 0,5 do krve. Pokud by se vstřebávalo pouze 0,1, tedy pětkrát méně, tak by množství polonia-210 bylo pětkrát vyšší, tedy $1,13 \cdot 10^{-7}$ gramu po převedení 0,11 mikrogramu. Abychom tyto odhady mohli srovnávat s následujícími, musíme si uvědomit, že zde použitý dávkový koeficient platí pro neomezené působení polonia (více než 100 dnů). Pro působení kolem 20 dnů je dávkový koeficient přibližně 3 krát menší, tj. dávky by musely být 3 krát větší, 60 nanogramů nebo 330 nanogramů (Institute of Radiation Protection, 2007).

Zároveň bychom přibližně odhadli dávku polonia-210 pro dospělého člověka, který zemře během relativně krátké doby na akutní nemoc z ozáření, můžeme přistoupit

i k jinému výpočtu. Jak již bylo výše zmíněno samotné odhady a výpočty jsou velmi složité, ale lze na základě některých velmi základních pojmů, informací, předpokladů a hodnot, které jsou dobře dostupné tuto dávku odhadnout. Abychom k samotnému odhadu mohli přistoupit, je zapotřebí definovat několik termínů. Již zmíněnou absorbovanou dávkou grey- Gy (J/kg). Dále je zapotřebí dohledat v tabulkách, že 1 elektron volt (eV) je $1,6 \cdot 10^{-19}$ J. Elektronvolt představuje jednotku rozpadové energie. Dále je známo, že energie rozpadu u polonia-210 je 5,4 MeV. Pro výpočet jsem předpokládala hmotnost dospělé osoby, že je 80 kilogramů. Ke zjednodušení výpočtu předpokládáme, že polonium-210 se začleňuje do všech životně důležitých orgánů. Jak již bylo zmíněno, je důležité si také uvědomit, že aby nastalo akutní ozáření a následná smrt, tak dávka se musí pohybovat okolo 4,5 Gy. Dále zde předpokládáme, že polonium-210 v lidském organismu je zadržováno nejméně po dobu dvaceti dnů. Na závěr je nutné si ještě uvědomit, že relativní biologická účinnost alfa částice není v tomto případě 20, ale pohybuje se kolem hodnoty 2. Jelikož jde o akutní účinky záření (Scott, 2007).

Vzhledem k tomu, že $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ a naše imaginární postava má hmotnost 80 kilogramů a zároveň je zapotřebí dávka o hodnotě 4,5 Gy, kdy tato dávka způsobí smrtelné následky, tak je zapotřebí 360 J. Po vynásobení hodnoty elektronvoltage $1,6 \cdot 10^{-19}$ a energie rozpadu polonia-210 (5,4 MeV) získáme hodnotu $8,64 \cdot 10^{-13}$ J. Díky těmto výsledkům tak získáme hodnotu, která nám sděluje počet alfa částic, které budeme potřebovat k získání této energie. Počet částic po vypočítání je zaokrouhlen na hodnotu $4,17 \cdot 10^{14}$ částic.

Pokud předpokládáme a počítáme s dvaceti dny (1.728.000 sekund), kdy je osoba vystavena poloniu- 210, tak potřebná aktivita by byla 241,32 MBq. To je založeno na skutečnosti, že 1 Bq polonia-210 produkuje 1 alfa částici za sekundu. Zároveň nesmíme opomenout, že alfa částice způsobují větší poškození, tak tuto hodnotu vydělíme 2. Lze tedy předpokládat, že polovina z předešlé hodnoty tj. 120,66 MBq poskytne stejnou úroveň dávky.

Na závěr odhadu porovnáme specifickou aktivitu polonia-210, která je pro tento výpočet použita hodnota $166 \cdot 10^{12}$ Bq/g a dále pak již dopočítáme, že pro hodnotu $120,66 \cdot 10^6$ nám vychází dávka polonia na 0,73 mikrogramu. Tak malé množství by usmrtilo jednotlivce deterministickým radiačním účinkem.

Pokud provedeme stejným způsobem výpočet pro pouhý 1 kilogram, tak nám vyjde hodnota 9,08 nanogramu. Tedy takové množství by bylo potřeba pro každý kilogram, aby došlo ke smrtelným následkům způsobeným poloniem-210.

Pro lepší přehlednost a názornost uvádím tabulku, kde jsou hodnoty jak hmotnost lidského těla, tak potřebné dávky polonia-210 (Polonium-210 Poisoning, 2006).

Tabulka 10: Potřebné množství polonia-210 k usmrcení člověka

Hmotnost člověka v kg	Množství polonia-210 v mikrogramech
50 kg	0,45
60 kg	0,54
70 kg	0,64
80 kg	0,73
90 kg	0,82
100 kg	0,91

Zdroj: Polonium-210 Poisoning, 2006

Odhady dávky jsou zde trochu větší než u odhadu pomocí efektivní dávky, protože se nepočítá s akumulací polonia-210 například v játrech (30%), ale předpokládá se rovnoměrná distribuce ve všech tkáních těla.

Existuje více odhadů pro tento nebezpečný prvek. Výsledky se nepatrně odlišují. Například: letální dávka u dospělého jedince se pohybuje v množství 1 μg (Pentreath et al 2014). Letální dávka je odhadována pro lidského jedince na méně než 10 μg (Ansoborlo, 2014).

4.2 Smrt Alexandra Litviněnka

Jak je již známo, tak polonium-210 je látka velmi nebezpečná i v malých dávkách. Kdy pouze necelý mikrogram stačí k usmrcení dospělého člověka. Právě tato látka v roce 2006 způsobila smrt bývalého ruského agenta Alexandra Litviněnka, který společně s jeho rodinou utekl z Ruska do Velké Británie. Právě tato země poskytla

Alexandru Litviněnkovi a jeho rodině politický azyl kvůli jeho minulosti. Následně tato událost způsobila, že vědci z celého světa se o tuto látku a její toxicitu začali více zajímat, než tomu bylo před tímto rokem (DiCarlo, 2009).

Již před více než deseti lety byl přijat do londýnské nemocnice cestou urgentního příjmu třiačtyřicetiletý muž, který se představil jako spisovatel. Bylo to dne 1. listopadu 2006. Muž měl závažné trávicí potíže a jeho stav se velmi rychle zhoršoval. Stěžoval si na tlak v podbříšku, nevolnost, zvracení a průjem (Drábková, 2008; Pouzar, 2010).

Lékař, který byl zrovna ve službě, pacienta přijal s diagnózou akutní gastroenteritida po dietní chybě. Muž měl jen lehce zvýšenou teplotu a laboratorní vyšetření byla v normě, krom lehké leukocytózy. Následující den měl být pacient doporučen k propuštění, jelikož se jeho zdravotní stav zlepšil a laboratorní vyšetření nevykazovala žádné větší změny. Pro náhlé zhoršení však byl pacient dále hospitalizován. Laboratorní testy již vykazovaly významný pokles trombocytů a leukocytů. Pacient přiznal, kdo opravdu je a uvedl své skutečné jméno- Alexandr Litviněnko. Lékařům popsal, že se sešel se dvěma kolegy. Společně si dali jídlo v restauraci. Poté snad odešel telefonovat nebo na toaletu a po návratu s oběma kolegy vypil čaj. Jedním z nich odešel a poté se rozešli. Když tento muž přiznal svoji identitu, případ ihned získal jiný rozměr. Velký zájem masmédií, ostraha kolem lůžka a politický zájem (Drábková, 2008).

Muži dále vypadávaly vlasy a výrazně klesla hladina všech typů krevních buněk. Příznaky lékařům napovídaly, že se jedná o nemoc z ozáření, případně otravu thaliem. Pacient byl podroben mnohým vyšetřením, a jelikož nereagoval na žádný ze způsobů léčby, byla jeho moč zaslána do specializované laboratoře Britain's Atomic Weapons Establishment. Byla zjištěna přítomnost nespecifikovaného alfa zářiče. Pacient zemřel 23. listopadu. Příčinou jeho úmrtí byla určena otrava poloniem-210 (Owen, 2016).

Odhadované množství, které pacient požil, přesahovalo 1 GBq (Pouzar, 2010). Pokud to přepočítáme na množství polonia-210 v mikrogramech, tak vyjde hodnota 6,02 mikrogramů. Tedy hodnota, která je alespoň šestkrát vyšší, než při spočítání odhadu v předešlé části této práce při hmotnosti člověka 100 kilogramů. Opět se názory různých autorů odlišují a lze tak v mnoha zdrojích najít rozdílné hodnoty lišící se ne zrovna malým rozdílem.

Toxikologické zprávy a výsledky z vyšetření odhadují, že Alexandr Litviněnko přijmul více než desetinásobek letální dávky polonia-210. Tedy je jasné, že vrah chtěl mít jistotu o následné smrti. Agentura pro ochranu zdraví posmrtně testovala orgány a

odhadla, že Alexandr Litviněnko mohl přijmout látku o hodnotě 4,4 GBq. Po přepočtení nám vychází 26,51 mikrogramu. Tedy ještě čtyřikrát více než uvádějí jiné předešlé zdroje. Za zmínku stojí i fakt, že odborníci díky analýze vlasů došli k zajímavému závěru. Ve vzorkách se nacházely známky otravy již dva týdny před fatálním předávkováním. Tedy Alexandr Litviněnko nepozřel polonium-210 pouze jednou, ale hned dvakrát. První dávka musela být natolik malá, že smrt nezpůsobila (DiCarlo, 2009; Owen, 2016).

Včasná diagnóza u Litviněnka byla velmi obtížná. Jednalo se o první případ, kdy člověk byl záměrně otráven tímto jedem. V počáteční fázi lze klinické příznaky akutní nemoci z ozáření lehce zaměnit s mnoho běžnými infekčními nemocemi. Zároveň specifické testy na alfa zářiče nejsou snadno dostupné (Pouzar, 2010).

Za zmínku stojí i skutečnost, kde existuje tak koncentrované polonium, které zabilo Alexandra Litviněnka? Takové koncentrace lze snad dosáhnout pouze při výrobě za použití jaderného reaktoru. Vzhledem k tomu, že polonium-210 je velmi nebezpečné, těžko vyrobitelné a zároveň podléhá předpisům. Vláda Spojených států amerických například diktuje, jaké množství může být vyrobeno a komu může být prodáno nebo dáno. Přesto případ Alexandra Litviněnka dokazuje, že pokud lidé chtějí polonium-210 získat do svých rukou, tak ho získají (Jozefowich, 2007).

Právě polonium-210, které bylo použito k usmrcení Alexandra Litviněnka a následně analyzováno v Britain's Atomic Weapons Establishment, tak bylo shledáno zcela čisté. Žádné nečistoty v prvku nebyly. Právě díky těmto detekovatelným charakteristickým nečistotám by odborníci mohli zjistit původ a datum výroby polonia-210. Bohužel se tak pravděpodobně nestalo (Owen, 2016).

Problémová byla dekontaminace a sledování zdravotnického personálu, který přišel do kontaktu s Alexandrem Litviněnkem. Po smrti, byl box v nemocnici uzavřen. Odborníci oblečení podle předpisů týkající se dekontaminace box zcela vystěhovali. Zařízení bylo zlikvidováno a vše, co přišlo do kontaktu s pacientem během hospitalizace, prošlo prověřením (Drábková, 2008).

Následně bylo v Londýně definováno pomocí pracovníků Health Protection Agency 11 míst, která byla potenciaálně ohrožena kontaminací poloniem-210. Zároveň bylo kontaktováno přes tisíc občanů Velké Británie, kteří se pohybovali ve vytipovaných oblastech. Většina těchto lidí, poskytla k rozboru vzorek moči. Měřitelné hodnoty polonia-210 bylo u 139 vzorků. Nejvyšší zjištěná absorbovaná dávka záření byla 100 mSv. Tato dávka vyvolá celoživotní riziko vzniku nádorového onemocnění 0,5

%. Pro srovnání průměrná roční dávka, kterou absorbuje každý občan Velké Británie ze záření přírodního pozadí je 2,2 mSv. Dále u 53 lidí absorbovaná dávka záření přesahovala hodnotu 1 mSv a u 17 jedinců byla hodnota 6 mSv (Pouzar, 2010).

4.3 Marie Curie Skłodovská

Marie Curie Skłodovská byla významná vědkyně 19. a 20. století. Do konce svého života neustále pracovala a pohybovala se v laboratořích. Objevila prvek polonium, pojmenovaný na počest její rodné vlasti Polsku, a radium. Bohužel její přání, aby právě prvek polonium byl ten opěvovaný a obdivovaný na prvním místě, se nesplnilo. Namísto toho se do popředí dostal druhotně objevený prvek radium. Celý svět zaplavila „radiová horečka“. Objevovaly se nejrůznější výrobky spojené s tímto prvkem. V Jáchymově byl dokonce k dostání chléb s radiem či radiové pivo (Zeman, 2011; Horák, 2011).

Jak je tedy možné, že Marie Curie Skłodovská při své práci a bádání v nevyhovujících podmínkách v kůlně a následně v laboratořích nezemřela na akutní nemoc z ozáření? Je známo, že již necelý 1 mikrogram (μg) polonia-210 postačí k usmrcení dospělého člověka. Toto nepatrné množství jsem i výše odhadla. Právě poloniem-210 byl zavražděn bývalý ruský agent Alexandr Litviněnko, jak jsem se již také zmiňovala. Zde se ale předpokládá, že vrazi použili několikrát vyšší dávku.

Z přepisu autobiografických poznámek od Marie a Pierra Curieových, které jsou dostupné na internetu je velké množství informací (Adloff, 1999), které tak mohou zodpovědět několik otázek a pohlédnout na tuto vědkyni komplexněji. Jsou jimi tři laboratorní poznámkové deníky uchovávané ve Francouzské národní knihovně. Další detaily lze odhadnout i z publikací z Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, týdenní zprávy Akademie věd. Z poznámek je zřejmé, že zkoumání pozoruhodného jevu v podobě neobvyklých a neznámých paprsků pro ně mělo velmi velký význam. I díky tomu, jak toto téma bylo zcela nové a neprobádané. Z jejich deníků tak víme, že svůj první laboratorní deník začali psát dne 16. září 1897 a samotné psaní paní Marie Curie Skłodovská zahájila o tři měsíce později, tedy v prosinci roku 1897. Tento měsíc je tedy, jak z jejich poznámek v laboratorním deníku vyplývá, počátek její práce na uranových paprscích. Veškerá data nejsou vždy uvedena v deníku, ale zároveň průběh jejich nelehké práce v laboratoři může být stanoven pomocí ostatních publikací, které se z té doby dochovaly (Adloff, 1999). Během prvních měsíců poznámky píše Marie Curie

Skłodowská prakticky sama. Komentáře od jejího manžela jsou omezené pouze na pár slov. Subjektivní poznámky se vyskytují jen výjimečně. Například v případě teploty v laboratoři. Kdy teplota dosahovala pouze 6,25 °C. Za touto nízkou teplotou následuje deset vykřičníků. Je tedy zřejmé, jak nelehké měla pracovní podmínky. První deník tedy zahrnuje tři měsíce jejich práce na začátku několikaletého úsilí. Obsahem tohoto deníku jsou informace převážně o instalaci a přípravě nejrůznějších zařízení, která budou následně potřebovat a používat při své práci. Druhý laboratorní deník je ukončen v době, kdy bylo objeveno polonium. Poslední psaný deník je započat po několikaměsíčním přerušení a následně tedy oznamuje objev radia. Zápisy s dalšími důležitými poznatky se prováděly pravidelně až do poloviny roku 1900. Poté jsou poznámky vědců sporadické. Marie Curie Skłodowská zasvětila svoji práci na izolaci makroskopického množství čistého radia, kdy právě na poslední stránce deníku se objevila jeho hodnota určující atomovou hmotnost 225,9. Za zmínku stojí i skutečnost, že výsledky byly v některých případech zaznamenávány do jiných dokumentů, tabulek, než do laboratorních deníků (Adloff, 1999).

4.3.1 Množství polonia, se kterým Marie Curie Skłodowská mohla přijít do kontaktu

Aby bylo možno zodpovědět otázku týkající se smrti způsobené akutní nemocí z ozáření, je tedy nejdříve zapotřebí vyhledat informace v nejrůznějších odborných článcích, převážně cizojazyčných. Jelikož mnoho informací v rodném českém jazyce k dispozici není nebo jsou zastaralé. Informace se v první řadě musí týkat především množství polonia, se kterým mohla přijít tato významná vědkyně 19. a 20. století do kontaktu při své práci v laboratoři. Tato nalezená informace nám tak může poskytnout důležitý fakt, zda vůbec mohla Marie Curie Skłodowská onemocnět akutní nemocí z ozáření. Je totiž možné, že s tak, i když pro nás nepatrným a nepředstavitelným množstvím, vůbec nepřišla do kontaktu. Jak je zmíněno v odhadu, k usmrcení dospělého jedince postačí pouhý necelý 1 mikrogram (μg) polonia-210. Pravděpodobně jak odborná literatura a převážně tedy odborné cizojazyčné články, které jsou dostupné, je zřejmé, že Marie Curie Skłodowská se více zabývala izolací radia než samotného polonia. I když bylo polonium první ze dvou objevených prvků, tak nedosáhlo takové pozornosti jako právě radium (Ansoborlo, 2014; Hogue, 2013).

Objev polonia byl publikován Pierrem a Marie Curie v červenci 1898. Bylo to prvním prvkem objeveným pomocí jejich nově vyvinuté metody radiochemické

separace, kde každý produkt izolovaný z primární smolné rudy byl detekován pomocí elektroměru zkonstruovaného jejím manželem Pierrem Curie. Radium a jeho fyzikálně chemické vlastnosti tedy zapříčinily, že polonium bylo až na druhém místě. Tomu je tak i v převážné většině článků, které se z větší části zabývají radiem než prvkem pojmenovaným po rodné zemi objevitelky- poloniem. Za zmínku tedy stojí informace, že radium se následně prokázalo jako důležitější než polonium (Marie Curie).

Radium získalo neobyčejnou popularitu a zároveň to byl nově objevený prvek, který dokázal pomáhat lidstvu. Toto se v té době o poloniu říci nedalo, a tak pomalu ustupovalo do pozadí. Jak již bylo řečeno, Marie Curie Skłodovská si přála, aby právě polonium byl ten slavný ojedinělý prvek, ale bohužel se tak nestalo.

Je i patrné, že pracovala s velmi malým množstvím těchto látek, kdy většinou přenášela několik setin aktivní látky (Curieová, 1964). Je to dáno tím, že oba tyto prvky, jak radium, tak polonium, se nacházejí v přírodě a tedy i uranové rudě ve velmi malých koncentracích (Muñoz Páez, 2013). Řádově to jsou miliontiny procenta, jak uvádí tabulka 1 v teoretické části této diplomové práce. Pro Marii a jejího manžela to tedy byly obtížné podmínky.

Marie Curie Skłodovská se pokoušela ověřit své hypotézy a předpokládala, jak jsem již uváděla v teoretické části této práce, že z českého smolince pocházející z Jáchymova bude moci běžnými procesy chemické analýzy prvek izolovat. Snaha o izolování nového prvku bylo velké pokušení. Tato geniální vědkyně netušila a nepředpokládala, jak obtížná tato izolace prvku bude. S manželem Pierrem předpokládali, že jim tato práce zabere pouze pár týdnů. Ani netušili, jak náročná a zdlouhavá práce to bude. Práce, která jim zabere mnoho let společného úsilí (Pasachoff, 2005). Stále se potýkali s problémem oddělení samotného polonia od bizmutu a radia od baria. Za zmínku zde stojí skutečnost, že v případě radia uspěli, ale v případě polonia nikoli. Jeho příprava je náročnější a složitější, především je to způsobeno tím, že polonium má krátký poločas rozpadu 138 dní, jak jsem již uváděla v teoretické části v tabulce 9. Radium má tu výhodu, že jeho poločas rozpadu je 1600 let a jeho koncentrace v rudách byla asi 5000 krát větší než u polonia. V prosinci roku 1904 Marie Curie Skłodovská vysvětluje, proč se polonium v čisté formě nepodařilo izolovat. Ostatní vědci tak stále pochybovali o existenci polonia. Nevěřili, že prvek skutečně existuje. Zároveň, ale polonium bylo roku 1905 umístěno do periodické soustavy prvků (Adloff, 2011; Hogue, 2013).

Marie Curie Skłodowska zřejmě i přes pomoc s firmou Central Chemical Products Company, která ji zajistila více koncentrovaný a předpřipravený materiál nikdy v průběhu své vědecké činnosti a práci v laboratoři, které trvaly několik desítek let, neizolovala samotné čisté polonium (Finding Dulcinea, 2011; Rafalska-Łasocha, 2012; Muñoz Páez, 2013). Zřejmě se vždy polonium nacházelo v přítomnosti jiného prvku, sloučeniny. Tedy ve formě směsi. Materiál se kterým oba vědci pracovali v laboratoři stále považovali za směs (Adloff, 1999; Adloff, 2011).

Tato informace má tedy velký význam v tom pohledu, že tato geniální žena snad nikdy nemohla najednou mít v jednom okamžiku tolik polonia, tedy prvek nacházející se v současné době na 84. místě v periodické tabulce prvků, aby i již zmíněné nepatrné množství postačilo k její smrti způsobené akutní nemoci z ozáření. Za zmínku stojí skutečnost, že v případě radia se podařila v roce 1902 určit jeho atomová hmotnost a předložit jasné důkazy, že tento prvek je opravdu nový a existující. Rok 1902 byl tedy rokem, ve kterém byla existence a charakter radia definitivně stanovena. Pokud jde o polonium, tak v jeho případě nebyla schopna ho izolovat, jelikož jeho množství je v uranu nízké. Nižší než radia. Za zmínku zde také stojí informace, jak v jejich laboratoři bylo připravené koncentrované polonium, se kterým byly provedeny důležité experimenty. Zejména pokud šlo o výrobu heliového záření (záření alfa) poloniem (Marie Curie).

Vědci tedy nebyli schopni izolovat polonium. Přednáška, která byla prezentována Marií Curie Skłodowskou při předání Nobelovy ceny v roce 1911 obsahuje mimo jiné právě i informace o tom, jak Marie Curie Skłodowska s jistotou předpověděla existenci asi 30 nových prvků, které bohužel obecně nelze zatím chemicky izolovat ani blíže charakterizovat. Předpokládala, že tyto elementy procházejí atomovými přeměnami. Opět je uváděno, jak v případě radia byla izolace zcela úspěšná, i když to vyžadovalo několikaleté úsilí a poté mohlo být radium industrializováno. Radium tedy byl dobře definovaný chemický prvek. V případě polonia to nelze říci, i přes to, že bylo vynaloženo velké úsilí. Velké úskalí je opět zmíněno v podobě množství polonia obsažené v minerále, který je podle této přednášky asi 5000 krát menší než radia. Za zmínku zde stojí také uvést, jak namáhavé operace to v laboratoři byly vzhledem ke krátkému poločasu rozpadu polonia-210. S přístroji, které měli vědci v tuto dobu k dispozici v laboratoři mohli jen stěží doufat o určení atomové hmotnosti polonia (Nobelprize. org).

Opět se nachází velké množství nejrůznějších informací od mnoha chemiků, či fyziků, které se v mnohém pohledu liší. Bohužel se tak velmi těžko dopátráváme pravdy. Pravděpodobně Marie Curie Skłodowská s manželem nemohli v roce 1898 izolovat dostatečné množství polonia pro potřebu určení atomové hmotnosti a zařazení do periodické tabulky prvků. V jejich připravené směsi v laboratoři bylo pravděpodobně obsaženo pouze 6 nanogramů polonia. Zároveň měření jeho radioaktivity, i přes toto malé množství, bylo již v tuto dobu dostupné a proveditelné (Guillaumont a Grambow, 2011). Tedy toto zde zmíněné malé množství, i kdyby bylo zcela izolováno, což není možné vzhledem na náročnost, by nestačilo k usmrcení dospělého člověka. Podle odhadu, který jsem provedla v předcházející části této práce je potřeba necelý 1 mikrogram. V roce 1910 bylo asi 100 mikrogramů polonia koncentrováno v několika miligramech bizmutu (Guillaumont a Grambow, 2011). Bohužel více informací, jak moc bylo koncentrováno jsem se z tohoto článku nedozvěděla.

Dokonce jsem dohledala i informace o izolaci polonia. Marie Curie Skłodowská prvek polonium izolovala a následně určila jeho fyzikální a chemické vlastnosti (Radvanyi, 2013). Bohužel je to jediný článek, ve kterém je tato zmínka. Zmínka o izolaci polonia jako o úspěšné. Proto musíme předpokládat, že je mylný.

Marie a Pierre museli oba nové prvky „vyrábět“ v měřitelných množstvích, aby tak dokázali jejich existenci. V jejich případě to tedy znamenalo zpracovat v kůlně na dvoře jedné francouzské školy obrovské množství smolince dovezeného z českého Jáchymova. Aby mohli prohlásit, že jde opravdu o nový prvek, museli identifikovat chemické vlastnosti a určit atomovou hmotnost, aby prvek mohl být správně zařazen na místo v periodické soustavě prvků (Fröman, 1996; Pasachoff, 2005). Dále je také zajímavé, že je zde uvedena tato informace. Po roce si oba vědci uvědomili, že radium se dá v jejich případě a podmínkách lépe oddělit než polonium. Oba vědci se tak začali více soustředit na tento prvek (Fröman, 1996; Pasachoff, 2005; Act For Libraries, 2017). Výsledkem bylo, že Marie Curie Skłodowská získala po tisících krystalizací z původního materiálu vzorek radia vážící 0,1 gramu, který byl extrémně radioaktivní. Poté jak již bylo zmíněno v jiné části této diplomové práce, určila atomovou hmotnost radia (Friedrich a Remane, 2011; Buszewski a Michel 2011; Rosenwald a Fridtjof, 2013). Bylo tedy konečně potvrzeno objevení nového prvku radia (Fry a Thoennessen, 2013).

Díky této práci byla její doktorská práce označena za velmi přínosnou a zjištění představovaly největší vědecký výsledek, který kdy byl v doktorské práci proveden

(Adloff,1998; Adloff, 2011; Ansoborlo, 2014). V roce 1910, tedy dvanáct let po objevení prvku polonia Marie Curie Skłodowská a André Debierné jednoznačně oddělili od zbytků několika tun uranové rudy-identifikovali spektrální technikou-konečný produkt 2 mg sulfidové usedliny, která obsahovala asi 0,1 mg polonia odděleného. Poprvé se tedy objevily charakteristické rysy polonia (Adloff, 1999; Adloff, 2011; Ansoborlo, 2014).

Ve spolupráci s Debiernem chtěla Marie Curie Skłodowská připravit polonium. Získali několik miligramů látky přibližně 50 krát aktivnější než byla stejná hmotnost čistého radia. Kolik miligramů to bylo, článek bohužel neobsahuje (Nobelprize. org).

Ke zmínění stojí i informace, že Marii Curie Skłodowské byla udělena v roce 1911 druhá Nobelova cena. V tomto případě za chemii. Nobelova cena byla této inteligentní ženě udělena za objevení prvků radia a polonia, izolaci radia, studování jeho povahy a také složení tohoto pozoruhodného prvku (Fröman, 1996; Langevin-Joliot a Kroh, 2011; Guillaumont et al., 2011; Famous Scientists; Nobelprize. org). Tedy izolace polonia zde ani není zmíněna

Komise udělující Nobelovy ceny zdůrazňovala úspěchy týkající se především radia a jen velmi málo se zmínila o poloniu, jelikož Marie Curie Skłodowská nemohla prokázat existenci tohoto prvku klasickou metodou. Jediným důkazem byla jeho radioaktivita (Petelenz, 2013).

Závěrem lze tedy shrnout, že právě poločas rozpadu polonia-210, který je pouze 138 dní, dává vysvětlení, proč Marie Curie Skłodowská nebyla schopna izolovat polonium. I když pracovala velmi důkladně a pečlivě (Pasachoff, 2005). Za zmínku zde stojí i skutečnost, že smolince obsahuje pouze malé procento polonia-210. V tomto případě je tedy spíše nereálné, aby se podařilo oddělit veškeré polonium-210 nacházející se ve smolinci. Dochází k velkým ztrátám v podobě adsorpce na stěny skleněných zkumavek (Adloff,1998).

Velmi zajímavá informace z pohledu izolace polonia je také ta, že mezi rokem 1919 až smrtí Marie Curie Skłodowské roku 1934 vědci v Radium Institute publikovali 483 děl, včetně 31 článků. Nejzajímavější informace z mého pohledu je ta, že až do konce svého života tato, z mého pohledu, geniální vědkyně pokračovala ve výzkumu izolace, koncentrace a čištění polonia a aktinia Opět tedy s největší pravděpodobností za celý svůj život, čisté polonium neizolovala. (Pasachoff, 2005).

4.3.2 Pravděpodobná čistota materiálu

Přesné množství polonia-210, se kterým Marie Curie Skłodowska pracovala, bohužel není lehce dohledatelné. Odlišují se jak názory v odborných člancích a publikacích, tak i některé hodnoty nacházející se v těchto textech. Naopak oproti přesnému množství polonia-210 se kterým tato žena mohla přijít za svůj život a dlouholetou práci v laboratoři do kontaktu, tak je známa hodnota získaného extraktu. Extrakt, který Marie Curie Skłodowska získala po několika úpravách a namáhavé práci v laboratoři, byl 300 aktivnější než samotný uran. (Fröman, 1996; Skwarzec, 2011; Act For Libraries, 2017; Famous Scientists).

Zároveň je i pravděpodobné, že zmíněný extrakt mohl být dokonce až 400 krát radioaktivnější než uran (Adloff, 1999; Adloff, 2011; Fry a Thoennesen, 2013; Feder). Objevila se i hodnota 330 (Strohmeier, 2011).

Díky těmto hodnotám, je tak možné vypočítat a přibližně odhadnout čistotu materiálu, se kterým tato pilná vědkyně pracovala. Dále abychom mohli tyto hodnoty, jak pro 300 krát radioaktivnější extrakt než uran, tak i pro 400 krát radioaktivnější extrakt než uran odhadnout, tak potřebujeme znát specifické aktivity obou prvků. Tedy jak polonia-210, tak i uranu. Z pohledu specifické aktivity jednotlivých izotopů je nejvíce aktivní uran- 234.

Tabulka 11: Specifické aktivity

Polonium -210	166.10 ¹² Bq/g
Uran-234	230.410.000 Bq/g
Uran-235	80.040 Bq/g
Uran-238	12.450 Bq/g

Zdroj: Krahula, 2006; Polonium-210, 2010

Jelikož se uran nachází v přírodě v nejrůznějších rudách, ale jen ve velmi nízkých koncentracích, tak budeme počítat s uranem-238, který má podle tabulky 11 viz výše nejnižší specifickou aktivitu, ale v případě zde uvedených izotopů uranu je uran- 238 nejvíce zastoupen v rudách-99,28 % (Vytiska, 2012).

Při specifické aktivitě polonia-210 a uranu-238, které jsou uvedeny v tabulce 11, jsem vypočítala pro tento případ, že polonium-210 je $1,33 \cdot 10^{10}$ krát aktivnější než samotný uran-238. Pokud tedy, jak jsem dohledala v publikacích a odborných člancích, že v případě Marie Curie Skłodowské byl extrakt se kterým pracovala 300 krát aktivnější než uran (Fröman, 1996; Skwarzec, 2011; Act For Libraries, 2017; Famous Scientists), tak nám vyjde při porovnání těchto hodnot, že ve srovnání s čistým poloniem-210 byl extrakt koncentrovaný vědkyní pouze $2,25 \cdot 10^{-6}$ %. Pokud tedy počítáme s předešlým odhadem, který jsem již provedla v předešlé části této práce, a to s množstvím 1 mikrogram, který postačí pro usmrcení člověka, tak s těmito hodnotami vyjde, že by Marie Curie Skłodowská musela pracovat s 44.444.444,44 mikrogramy polonia-210. Pokud tuto hodnotu převedu na gramy, pro lepší představu a názornost, je to 44, 44 gramů. Je to tedy opravdu obrovské množství, se kterým se pravděpodobně Marie Curie Skłodowská za svůj dlouholetý výzkum a práci v laboratoři nesetkala.

Pro lepší přehlednost jsem vypočítala i ostatní množství polonia-210, které by Marie Curie Skłodowská musela inkorporovat, aby se smrtelně otráвила poloniem-210. Výsledky jsou uvedeny v tabulce číslo 12. Zde nebudeme předpokládat, že letální dávkou polonia-210 je jeden mikrogram, ale i méně. Druhý sloupeček obsahuje množství, které by musela Marie Curie Skłodowská inkorporovat, pokud by bylo polonium-210 obsaženo v jejím extraktu při tak nízké koncentraci.

Tabulka 12: Srovnání čistého polonia-210 a vyrobeného extraktu (300x)

Letální dávka 100% čistého polonia-210 v mikrogramech	Množství polonia-210 vyrobené z extraktu, které by bylo potřebné k usmrcení v gramech
0,4	17,78
0,5	22,22
0,6	26,67
0,7	31,11
0,8	35,56
0,9	40,00

Zdroj: Vlastní výzkum

Dále uvádím výsledky, které jsem vypočítala, pokud by byl extrakt Marie Curie Sklodowské 400 krát aktivnější než uran, jak uvádí i jiné zdroje (Adloff, 1999; Adloff, 2011; Fry a Thoennessen, 2013; Feder).

Opět specifická aktivita polonia-210 a uranu-238 je stejná jako v předešlém případě, kdy extrakt byl méně aktivní. Při hodnotě, se kterou tedy teď počítáme, opět vychází, že pokud srovnáme specifické aktivity obou zde uváděných prvků, tak polonium je v ideálním případě $1,33 \cdot 10^{10}$ aktivnější než uran. Pokud ale zahrneme do výpočtu, že extrakt v tomto případě byl 400 aktivnější než uran, vychází nám, že mohl být koncentrovaný o hodnotě $3,01 \cdot 10^{-6}$ %. Při takto nízké koncentraci nám opět vychází, že by člověk musel inkorporovat 33, 22 gramu polonia-210. Opět pro lepší názornost uvádím tabulku.

Tabulka 13: Srovnání čistého polonia-210 a vyrobeného extraktu (400x)

Letální dávka 100% čistého polonia-210 v mikrogramech	Množství polonia-210 vyrobené z extraktu, které by bylo potřebné k usmrcení v gramech
0,4	13,29 g
0,5	16,61
0,6	19,93
0,7	23,26
0,8	26,58
0,9	29,90

Zdroj: Vlastní výzkum

4.3.3 Ochranná opatření

Je důležité také v případě této diplomové práce zahrnout i oblast týkající se ochranných opatření vzhledem k radiotoxicitě prvků. Zda již na přelomu 19. a 20. století taková nějaká opatření existovala, zda si byli vědci vědomi zdravotního nebezpečí související s jejich nelehkou prací v laboratořích. Z dostupných článků, které

jsem přeložila, jsem hledala informace týkajících se tedy převážně Marie Curie Skłodowské. Zda již používala vhodné ochranné pomůcky, které byly pro tuto dobu dostupné.

Jak je dohledatelné z mnoha odborných článků a publikací, tak Marie Curie Skłodowská byla velmi pokorné povahy a peníze zbytečně neutrácela.

Za zmínku stojí tato zajímavá informace týkající se jejího oblečení. Marie Curie Skłodowská po mnoho let nosovala tmavě modré šaty, které tato vědkyně měla i na svém svatebním obřadu s Pierrem Curie v červenci roku 1895. Tyto šaty byly ušity tak, aby poté mohly po mnoho dalších let sloužit jako oděv v laboratořích. Staly se tak jakýmsi laboratorním kabátem, ve kterém prováděla své pokusy (Pasachoff, 2005). Je tedy velmi pravděpodobné, že po celá dlouhá léta v laboratořích při práci nosovala a používala obyčejné šaty, které si nejspíše nechránila další vrstvou oděvu.



Obrázek 1: Marie Curie Skłodowska v laboratoři

Zdroj: Encyclopædia Britannica

Za zmínku stojí i skutečnost, že i v případě slavnostní události v podobě obdržení doktorátu ve Francii si Marie Curie Skłodowska na popud její sestry pořídila nové šaty.

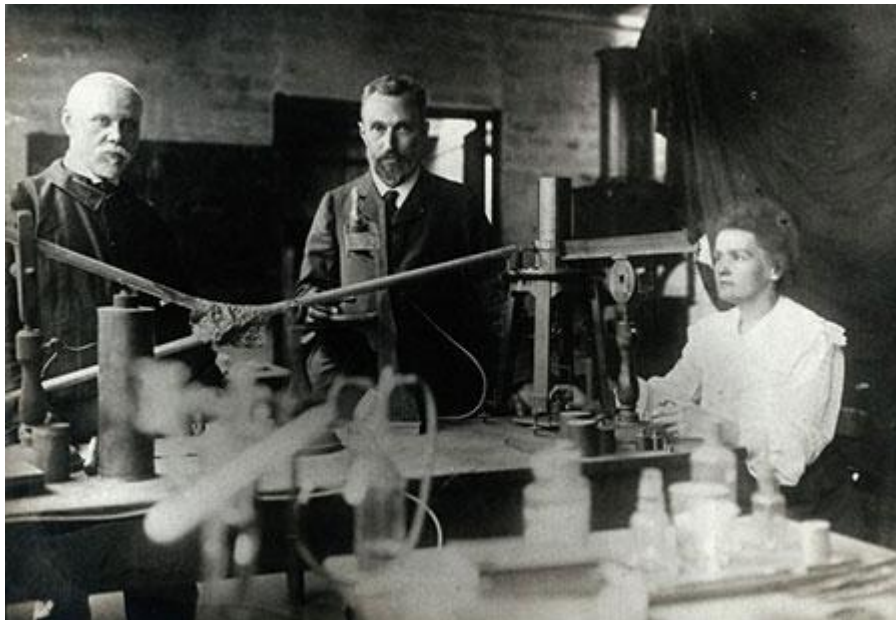
Marie si typicky vybrala černé šaty, tedy tmavé, jako tomu bylo i před osmi lety v případě šatů svatebních. Šaty tak mohly být opět nošeny v laboratoři. Zároveň jejich tmavá barva byla velmi praktická, jelikož na nich případně nebudou tolik vidět skvrny způsobené nejrůznějšími pokusy v laboratoři (Pasachoff, 2005).

Jaké oblečení vědkyně polského původu žijící v té době v Paříži nosívala, je možné vidět i na mnoha fotografiích, které byly pořízeny z nejrůznějších let během jejího života. Jak z období, kdy se zabývala objevením prvků polonia a radia, tak i v období válečném. A zda tedy Marie Curie Skłodowská používala alespoň nějaké dostupné ochranné pomůcky, by pravděpodobně bylo zachyceno na některé z dobových fotografií, kterých je velké množství. Bohužel snad na žádné z těchto fotografií, které jsou součástí odborných článků v časopisech, publikacích, či na internetových stránkách a jsou tedy fotografie snadno dohledatelné tato geniální vědkyně není zachycena s ochrannými brýlemi, štítem, či rukavicí.

Oba vědci měli trvalé poškození prstů na rukách, jelikož oba manželé byli vystaveni zářením z radioaktivního materiálu, před kterým se s velkou pravděpodobností nechránili (Pasachoff, 2005). O tomto zdravotním poškození se dále ještě budu zmiňovat v následující části. Marie Curie Skłodowská pravidelně zacházela s radioaktivními prvky v laboratořích bez použití ochranných prostředků. V době, kdy pokusy v laboratořích probíhaly, nebyly známy škodlivé účinky záření, a tak se vědci pracující s tímto materiálem dostatečně nechránili. Rizika spojená s expozicí radioaktivních látek, nebyla v počátcích výzkumu známa a podchycena (Pasachoff, 2005; March, 2010; Spectrum Science, 2015; Insyte consulting, 2015). Marie Curie Skłodowská tedy pravděpodobně nepřijala náležitá bezpečnostní opatření při práci v jejich skromné laboratoři (Skwarzec, 2011; Buszewski a Michel, 2011). V některých případech Marie Curie Skłodowská při pokusech pipetovala směsi s poloniem, či radiem svými ústy (Friedrich a Remane, 2011).

Za zmínku zde stojí i skutečnost, že Marie Curie Skłodowská i její manžel Pierre Curie nosívali ve svých kapsách testovací zkumavky s tímto zdraví škodlivým materiálem. Mezi ostatními vědci byli touto posedlostí známi. Dále zkumavky ukládali jen do obyčejných zásuvek v psacím stole, které nebyly nikterak výjimečně upraveny (Skwarzec, 2011). Marie Curie Skłodowská měla dokonce svoji milovanou radiovou sůl u postele, která díky svým chemickým a fyzikálním vlastnostem ve tmě svítila. Manžel Pierre Curie se často chlubil svým přátelům tím, jak má radium milionkrát větší radioaktivitu než uran a často tedy zkumavku s tímto prvkem nosíval v kapse, aby ji

mohl ihned případně ukázat svému okolí (Fröman, 1996; Pasachoff, 2005). A i kdyby rizika spojená s radioaktivitou byla známa a měla Marie Curie Skłodowska k dispozici osobní ochranné pomůcky? Jaké další možnosti by ji tyto ochranné pomůcky poskytly při dlouholeté práci v laboratoři, se bohužel nedozvíme.



Obrázek 2: Marie a Pierre v laboratoři l'Ecole de physique et chimie industrielles
v Paříži

Zdroj: Nobelprize.org

Muž stojící vlevo je pravděpodobně Henri Becquerel. Fotografie byla pořízena roku 1898.

Z mého pohledu je také důležité se zmínit o jejich vybavení v laboratoři, které bylo velmi skromné. Již zmíněné vybavení neodpovídalo jejich požadované potřebě k výzkumům. Oba vědci společně disponovali s pár starými opotřebovanými stoly z borového dřeva, pecemi s plynovými hořáky. Pro své účely a chemické pokusy, v podobě výroby dráždivých plynů, často používali sousední dvůr, jelikož jejich skromnou, nevyhovující laboratoř často zužoval kouř a dým (Marie Curie; Fröman, 1996). Bohužel, zda používali ochranné pomůcky v podobě brýlí, štítů, rukavic vědkyně ve svých poznámkách neuvádí. Můžeme se tedy domnívat, že s těmito pomůckami také nedisponovali. Vzhledem k tomu, že manželé neměli adekvátní úkryt, trezor, ve kterém by mohli uchovávat své drahocenné a však radioaktivní výrobky, byly tyto zkumavky vyrovnány na stolech nebo v jejich zásuvkách. Oba vědci tak mohli v noci vidět slabě zářící paprsky od těchto preparátů, jak jsem se již zmiňovala v teoretické části této práce. Zároveň z těchto preparátů, unikaly nebezpečné plyny. Nebezpečné plyny

obsahovaly mimo jiné i radon, což je radioaktivní plyn, o který se v dnešní době populace více zajímá, jelikož v malých množstvích se uvolní i ze stavebních materiálů (Fröman, 1996). V souvislosti se shromažďováním radonu pro další využití, jelikož radium neustále produkuje radon, tak tento radioaktivní plyn Marie Curie Skłodowska ve 48 hodinových intervalech odebírala. Při této manipulaci s tak nebezpečným plynem se dostatečně nechránila před radioaktivními parami. Radon produkovaný z radia následně utěsnila v tenkých skleněných tubách o délce jednoho centimetru a ty následně byly dodávány vojenským a civilním nemocnicím k dalšímu využití. Především po malé úpravě byly umístěny přímo do těl pacientů v místě, kde radiace měla za cíl zničit nemocné tkáně. Radium Institut bylo tak světové centrum pro studium radioaktivity (Pasachoff, 2005).



Obrázek 3: Laboratoř Marie Curie Skłodowské v pařížské latinské čtvrti

Zdroj: Galbraith

Marie Curie Skłodowska se v roce 1925 zúčastnila sjezdu Francouzské akademie lékařů. Tato komise následně doporučila používat olověné štíty a periodické testy zaměřující se na krevní buňky. Tyto periodické testy měli podstupovat všichni pracovníci vyskytující se v okolí, kde byly radioaktivní materiály. Marie Curie

Skłodowská i přes tyto doporučení stále nevěřila, že lidé pracující v laboratořích jsou vystaveni takovému nebezpečí pocházejícího z radioaktivního materiálu, jako je tomu u pracovníků v průmyslu. I přesto požádala své zaměstnance Radium Institute, aby pravidelně docházeli na kontroly krevního obrazu. Dále Marie Curie Skłodowská doporučovala svým členům personálu, aby pravidelně cvičili a pobývali na čerstvém vzduchu (Pasachoff, 2005). Byla to tedy také svým způsobem ochranná a bezpečnostní opatření, která měla podle Marie Curie Skłodowské ochraňovat pracovníky v laboratořích před škodlivými účinky radiace. Sama byla velmi aktivní a ráda pobývala v přírodě se svými dvěma dcerami.

Vzhledem k povaze polonia, které je nebezpečné a i v malých dávkách zdraví škodlivé je v dnešní době každá práce s tímto prvkem přísně hlídána a regulována. Jelikož polonium lze snadno vstřebat několika způsoby. Způsobem v podobě příjmu do těla jako je inhalace polonia ze vzduchu nebo požití polonia z kontaminovaných potravin, vody (Pentreath, 2014). Lze tedy předpokládat, že Marie Curie Skłodowská pravděpodobně nemanipulovala s velkým množstvím polonia-210. U tohoto vysoce toxického prvku dochází k výparu při nízkých teplotách, kolem 50 °C. Pokud se vzorek polonia zahřeje na 55 °C, tak 50 % se odpaří. I navzdory skutečnosti, že teplota tání a teplota varu polonia jsou vysoké při 254 °C a 962°C. Snadno se polonium dostane do vzduchu a je tedy velmi obtížné s ním manipulovat (Ansoborlo, 2014; Pentreath, 2014). I tyto informace nám tak dávají možnost ucelit si celkový pohled na práci významné vědkyně s tímto nebezpečným prvkem. Pokud by teda její získaný extrakt byl velmi koncentrovaný, či by dokonce izolovala čisté polonium a ochranné pomůcky by nepoužívala, tak s největší pravděpodobností by onemocněla akutní nemocí z ozáření.

V dnešní době se s poloniem manipuluje ve speciálně navržených vzduchotěsných skříních. Tyto skříně se nazývají rukavicové skřínky. Uvnitř skříně je dostatečný podtlak, který zabrání kontaminovanému vzduchu nacházející se uvnitř rukavicové skříně, aby neucházel do pracovního prostředí v laboratoři. Vysoce výkonné rukavice se tak používají k případnému zabránění kontaktu s rukama pracovníků. V žádném případě by se nikdy neměly používat poškozené rukavice. Odpadní plyn z této skřínky je před samotným uvolněním do životního prostředí dvakrát filtrován pomocí vysoce účinného filtru. Také pro zajištění radiologické bezpečnosti je prováděno adekvátní monitorování pracoviště, kde se s tímto prvkem manipuluje a osob, které s ním přicházejí do kontaktu (Pentreath, 2014).



Obrázek 4: Rukavicová skříň používaná v dnešní době v laboratořích při manipulaci s nebezpečnými prvky

Zdroj: SylaTech

Za zmínku stojí i skutečnost, že jejich papíry, na kterých bychom našli poznámky obou vědců, či jejich tři černé laboratorní deníky jsou stále radioaktivní. Pokud bychom dnes chtěli do těchto materiálů v Bibliothèque Nationale nahlédnout, ve kterých je zaznamenána jejich práce od prosince roku 1897, tak osoba musí podepsat certifikát, ve kterém stojí, že je prohlídka materiálů na vlastní nebezpečí (Fröman, 1996). Oproti poloniu má radium dlouhý poločas rozpadu, jak jsem již psala v teoretické části práce a to přibližně kolem 1600 let. Až po této dlouhé době se jeho aktivita sníží na polovinu. Takováto opatření tedy potencionální zájemci, kteří by chtěli nahlédnout do poznámek vědců, budou muset dodržovat ještě po mnoho let.

Muzeum Marie Curie v Paříži stále udržuje kancelář a laboratoř Marie Curie Skłodowské v Radium Institut, jako když ji kdysi tato významná vědkyně opustila. Roku 1981 prostory musely být dekontaminovány, jelikož byly příliš radioaktivní (Pasachoff, 2005).

4.3.4 Zdravotní problémy spojené s prací v laboratoři

Další část této diplomové práce také obsahuje zdravotní problémy spojené s výzkumy obou manželů Curieových v jejich laboratoři. I tyto informace nám tak mohou poskytnout další pohled na významnou vědkyni na přelomu 19. a 20. Století. Zároveň mohu tyto další poznatky z této oblasti zahrnout do celkového pohledu na tuto výjimečnou ženu a její celoživotní práci.

Jak jsem se již zmiňovala v předešlém textu, tak Marie Curie Skłodovská pravděpodobně nepoužívala ochranné pomůcky. Ať už by to byly rukavice, brýle, či obyčejný plášť. Zároveň na počátku svého bádání s manželem netušila, jaké účinky mají jejich několikaleté výzkumy na jejich zdraví, jak je uváděno v mnoha zahraničních člancích. Tyto okolnosti se pravděpodobně negativně projevíly na zdraví obou manželů.

Počátkem roku 1903 se objevily první zdravotní problémy. Bohužel manželé Curieovi ignorovali všechny prvotní příznaky a nepřikládali jim takovou vážnost (Strohmeier, 2011). Pokud se tedy zaměřím v odborných člancích, které jsem přeložila a nastudovala, na jejich zdravotní problémy vyplývající pravděpodobně z jejich několikaleté práce v přítomnosti radioaktivních materiálů, tak se dozvídáme, že oba manželé měli příznaky radiačního onemocnění (Muñoz Páez, 2013; Feder). Dokonce je uváděno, že manželé nemohli vycestovat do Švédska, aby si převzali Nobelovu cenu za fyziku roku 1903, jelikož byli oba nemocni a na dlouhou cestu se po zdravotní stránce necítili. Marie Curie Skłodovská měla potíže v podobě kašle a úbytku váhy (Pasachoff, 2005; Famous Scientists).

Zdravotní problémy obou manželů nešly skrývat před veřejností, která si jich v blízké době povšimla. I přes začínající zdravotní problémy Pierre Curie prováděl pokus se solí radia na své ruce. Dychtivý vědec si aplikoval na svoji ruku sůl radia a nechal ji deset hodin působit. Poté studoval vzniklou ránu, která se podobala spálenině. Po padesáti dvou dnech, zůstává na místě, kde byla aplikovaná sůl radia šedá jizva. Tímto pokusem se začal Pierre Curie zmiňovat o možnosti léčby rakoviny pomocí radia. Je to tedy Pierre Curie, který se po tomto pokusu se solí radia na své ruce zmiňuje o kožních popáleninách, které mohou být způsobeny radioaktivními látkami (Fröman, 1996; Skwarzec, 2011; Strohmeier, 2011).

Ostatní vědci si také nemohli nevšimnout, že prsty Marie i Pierra Curieových jsou zjizveny a popálené. V některých případech mají velký problém udržet v ruce skleněnou zkumavku s preparáty. V některých případech měli oba manželé potíže při oblékání,

jelikož jejich prsy byly pokryty vředy (Pasachoff, 2005). I toto popálení na prstech nám tak říká, že pravděpodobně nepoužívali žádné rukavice, aby ochránili svoji kůži na prstech u ruky, jak jsem se již zmiňovala v předešlé části této diplomové práce zabývající se Marií Curie Skłodowskou. Marie i Pierre trpěli neustálou únavou (Feder), jelikož jak jsem již psala výše, neměl ani jeden z nich tušení o škodlivém vlivu radiace na jejich celkový zdravotní stav. Ani ostatní vědci, jako například Rutherford, nic netušil o těchto nebezpečných účincích. Pierre měl také velké problémy s chůzí a jeho nohy se často třásly. V srpnu 1903 Marie Curie Skłodovská bohužel prodělala potrat. Dále se zhoršovalo Pierrovo zdraví. Stres a zdravotní problémy dále vyústily u Marie v problém s ledvinami. Na soukromé klinice podstupuje operaci ledvin. Operace byla naléhavá a potřebná. Po příjezdu z ceremoniálu Nobelových cen roku 1911 se začal zdravotní stav již uznávané vědkyně zhoršovat. K zotavení ji velmi pomohly letní prázdniny ve Velké Británii (Pasachoff, 2005; Langevin-Joliot, 2011; Gwiazdowska et al., 2015). Téměř celé dlouhé dva roky se Marie zotavovala, než opět začala pracovat ve své milované laboratoři po boku ostatních pracovníků (Strohmeier, 2011).

Jak jsem již psala v teoretické části, tak právě polonium-210 nejvíce postihuje játra a ledviny. Můžeme tedy předpokládat, že právě proto mohla mít Marie Curie Skłodovská problémy s ledvinami a následně musela podstoupit jejich operaci na soukromé klinice.

I za první světové války se tato vědkyně nepohybovala v prostředí bez ozáření. V primitivních podmínkách byla vystavena se svoji prvorozenou dcerou velkým dávkám záření při rentgenování raněných vojáků. Díky rentgenovým vozům, které navrhla a s pomocí dalších zkonstruovala, se během této první světové války, pohybovala na mnoha místech a v mnoha nemocnicích pořizovala rentgenové snímky raněných. (Fröman, 1996; Skwarzec, 2011; Pasachoff, 2005). Zároveň si Marie Curie Skłodovská se svoji dcerou dávaly pozor, aby samy nebyly příliš v dosahu rentgenového záření. Jelikož s lékaři rentgenovali mnoho případů a pečlivě zaznamenávali údaje o každém pacientovi (Pasachoff, 2005). Jak moc byly obě ženy na sebe a své zdraví opatrné se bohužel již pravděpodobně nedozvíme. Můžeme se pouze domnívat.



Obrázek 5: Marie Curie Skłodowska a její dcera Irène v nemocnici Hoogstade v Belgii v roce 1915

Zdroj: Nobelprize.org

Marie Curie Skłodowska se potýkala i se šedým zákalem (Pasachoff, 2005; Gwiazdowska et al., 2015). Roku 1920 se dozvěděla, že má dvojitou kataraktu. Dnes již je známo, že vystavení radiaci může způsobit toto onemocnění, při kterém se oční čočka zakalí. V případě geniální vědkyně musela Marie Curie Skłodowska podstoupit čtyři operace, aby mohla znovu provádět složité laboratorní pokusy a nemusela psát své poznámky obrovskými písmeny. Zároveň svůj zdravotní stav před okolím stále skrývala (Pasachoff, 2005; Meißner, 2015).

Blízcí přátelé manželů se stále snažili oba vědce přesvědčit, aby pracovali méně a dopřáli si odpočinek. Jelikož oba manželé v laboratoři pracovali i 14 hodin denně. Všechny příznaky, které jsem zde zmínila, byly připisovány nadměrnému proniknutí radiace do jejich organismů a nevyhovujícímu pracovnímu prostředí v podobě staré kůlny (Pasachoff, 2005; Meißner, 2015).

Je těžké a snad i nemožné po tolika letech odhadovat jakým dávkám ozáření byla Marie Curie Skłodowská vystavena během její dlouholeté výzkumné činnosti, a to především s radioaktivními prvky. Uplynulo již mnoho let, a tak si lze jen stěží představit, čemu všemu byla Marie Curie Skłodowská za svoji několikaletou praxi v laboratoři vystavena. Zároveň si v dnešní době můžeme jen stěží představit, jak by byla oblast fyziky a chemie formována, kdyby se Marie Curie Skłodowská nerozhodla koncem roku 1897 studovat neznámé.

5 DISKUSE

V této diplomové práci na téma: „Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc z ozáření?“, jsem se snažila především pomocí odborných článků, literatury i internetových zdrojů nalézt odpověď na tuto nelehkou otázku. Jak jsem se zmiňovala, velké množství odborných článků je především ze zahraničních odborných časopisů zabývajících se chemií, fyzikou, či podobným odvětvím.

Prvním cílem diplomové práce bylo zmapovat život a vědeckou činnost paní Marie Curie Skłodowské. Toto zmapování je obsaženo v první části teoretické práce, kde je popsán úchvatný a zároveň, z mého pohledu, nelehký život významné vědkyně 19. a 20 století.

Cílem druhým bylo popsat příčiny a následky akutní nemoci z ozáření. Této problematice je věnována druhá část teoretické práce.

V souvislosti s těmito dvěma cíly byla položena výzkumná otázka. Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc z ozáření? Snažila jsem se tedy na ni nalézt odpověď nebo alespoň se přiblížit k této odpovědi, jelikož již uplynulo mnoho let, aby s jistotou tato otázka byla zodpovězena.

Do výsledkové části jsem zahrnula i odhad smrtelné dávky polonia-210. Tedy jaké množství by musel člověk inkorporovat, aby mu způsobilo akutní nemoc z ozáření a na její následky následně během krátké doby zemřel. Pomocí výpočtů jsem odhadla, že pokud by dospělá osoba vážila 70 kilogramů, tak by k usmrcení dospělé osoby stačilo množství 0,64 mikrogramů. V případě, kdy by osoba vážila 100 kilogramů, tak toto množství by se pohybovalo okolo 0,91 mikrogramů. Ostatní hodnoty jsou uvedené v tabulce číslo 10. V této tabulce číslo 10 jsou letální hodnoty pro hmotnosti v rozmezí 50-100 kilogramů. Můžeme dohledat tyto odhady i u jiných autorů. Letální dávka dospělého jedince se pohybuje okolo množství 1 mikrogram (Pentreath et al 2014). Zároveň za zmínku stojí i skutečnost, že letální dávka je odhadnuta na méně než 10 mikrogramů (Ansoborlo, 2014). Z tabulky číslo 10 je tedy patrné, že v případě 50 kilogramů je to 0,45 mikrogramu. Jelikož jak uvádí mnoho zahraničních autorů a i dobových fotografií, na kterých je Marie Curie Skłodovská vyobrazena, s jistotou lze tedy předpokládat, že její postava byla velmi drobná (Encyclopædia Britannica). Postačilo by ji inkorporovat méně nebezpečného polonia-210, než v případě mohutného muže.

Dále jsem do této části zahrнула i celosvětově známý případ. Případ týkající se smrti Alexandra Litviněnka. Byla to první osoba, která byla zabita velmi toxickým prvkem, který se nachází na 84. místě v periodické soustavě prvků a má velmi krátký poločas rozpadu (Pouzar, 2010). Jednalo se o prvek polonium- 210. Především, když ho daná osoba pozře, jako tomu bylo právě v případě bývalého agenta Alexandra Litviněnka (Owen, 2016). Je zajímavé, že autoři se liší v množství polonia-210, které pravděpodobně Alexandru Litviněnkovi způsobilo smrt. Mohlo se jednat o množství 6,02 mikrogramu (Pouzar, 2010). Zároveň bylo odhadnuto i množství 26,51 mikrogramu (Owen, 2016). Množství polonia- 210 se tak výrazně odlišuje.

Dále jsem se v práci zabývala Marií Curie Skłodowskou a položila jsem si otázku, s jak velkým množstvím polonia-210 tato vědkyně mohla přijít do kontaktu při své dlouholeté práci v laboratoři? Mnoho odborných článků uvádí stejnou informaci, že Marie Curie Skłodovská nikdy neizolovala čisté polonium (Adloff, 2011; Rafalska-Łasocha, 2012; Petelenz, 2013; Nobelprize. org). Tato informace byla obsažena i v jejich autobiografických poznámkách, jak jsem již uváděla v této diplomové práci. Nalezla jsem i v jednom případě informaci, že Marii Curie Skłodovské se podařilo izolovat polonium (Radvanyi, 2013). Tuto informaci, ale pravděpodobně musíme považovat za mylnou. Za svůj život získala dvě Nobelovy ceny. První cenu v oblasti fyziky druhou cenu roku 1911 v oblasti chemie. Ani v jedné případě tedy nebyla cena získána díky izolaci polonia (Langevin-Joliot a Kroh, 2011; Guillaumont et al., 2011; Petelenz, 2013). Marie s manželem si zpětně uvědomili, že právě tento nebezpečný prvek má velmi krátký poločas rozpadu a jeho množství v jáchymovském smolinci je nepatrné. Tuto informaci dokládá více autorů a jejich názor je jednotný (Fröman, 1996; Pasachoff, 2005). Více se tedy soustředili na radium, u kterého významná vědkyně určila atomovou hmotnost. Díky jejich velkorysosti si nepatentovali postup, jak získat radium ze smolince, a tak se radium začalo průmyslově vyrábět. Po celém světě vypukla radiová horečka, jak je uváděno ve zdrojích (Zeman, 2011; Horák, 2011).

Také jsem se ve výsledkové části práce zabývala, jak moc byl extrakt, který obsahoval polonium, koncentrovaný. O jeho koncentraci lze nalézt v mnoha zahraničních člancích různé hodnoty. Narazila jsem na tři hodnoty. Počítala jsem tedy se dvěma variantami. V prvním případě, že připravený extrakt byl 300 krát aktivnější než uran (Fröman, 1996; Skwarzec, 2011; Act For Libraries, 2017; Famous Scientists) a také 400 krát aktivnější než uran (Adloff, 1999; Adloff, 2011; Fry a Thoennessen, 2013; Feder). Pro obě tyto hodnoty jsem vypočítala, kolik by v případě těchto extraktů,

musela Marie Curie Skłodowska polonia-210 inkorporovat aby zemřela na následky z akutní nemoci z ozáření. Ani v jednom případě, jak je znázorněno v tabulkách číslo 12 a 13 jsem se nepřiblížila hodnotě 1 mikrogram. Pomocí tohoto odhadu, lze tedy odpovědět na otázku, že Marie Curie Skłodowska pravděpodobně nemohla zemřít na akutní nemoc z ozáření způsobenou poloniem-210. Její vyrobený extrakt byl málo koncentrovaný, a tak by potřebovala několikanásobně větší množství polonia-210. Pravděpodobně s tak velkým množstvím najednou nikdy nepřišla do kontaktu, a jak jsem se již zmiňovala, pravděpodobně za svůj život se jí nepodařil tento prvek izolovat.

V době objevení obou prvků ještě nebyly známy škodlivé účinky záření a tak jsem se tedy také zaměřila i na ochranná opatření při práci obou vědců v laboratoři. Opět jsem dohledala informace v převážné většině odborných článků, že Marie i její manžel Pierre Curie nepoužívali ochranné pomůcky (Pasachoff, 2005; Skwarzec, 2011; Buszewski a Michel, 2011). Dokonce je uváděno, že v některých případech Marie Curie Skłodowska při pokusech pipetovala směsi s poloniem, či radiem svými ústy (Friedrich a Remane, 2011). Názory autorů se tak shodují. Ani v jejich autobiografických poznámkách není žádná ochranná pomůcka například v podobě rukavic, pláště uvedena. Jak je zmíněno v teoretické části, tak v žádném případě bychom neměli brát radionuklidy do ruky a pipetovat je ústy. Pokud se jedná o činnosti, při kterých mohou radioaktivní látky uniknout do ovzduší, měly by se tyto činnosti vykonávat v uzavřených prostorech (Kuna et al., 2005). Také je uváděno, že Marie nosívala po mnoho let v laboratoři své svatební šaty a sloužily jí tedy jako laboratorní oděv (Pasachoff, 2005). I z obrázků, které jsou součástí článků, je patrné, jak Marie Curie Skłodowska manipulovala se skleněnými zkumavkami holýma rukama (Encyclopædia Britannica). Bohužel tak oba vědci trpěli zdravotními problémy. I tato oblast týkající se zdravotního stavu, nám dokreslila celkový pohled na geniální vědce.

Marie i Pierre měli popálené konečky prstů na rukách, jelikož při manipulaci se zkumavkami nepoužívali ochranné pomůcky. O těchto problémech se zmiňuje více autorů (Fröman, 1996; Skwarzec, 2011; Strohmeier, 2011). Také je známo, že se Marie Curie Skłodowska potýkala se šedým zákalem a následně musela podstoupit čtyři operace, aby nadále se mohla věnovat bádání (Pasachoff, 2005; Gwiazdowska et al., 2015). Katarakta se může vyskytnout po jednorázovém ozáření oka nebo po opakovaných expozicích. Po jednorázovém či frakcinovaném ozáření oka s prahovou dávkou vyšší než 0,5 Gy dochází k zákalu oční čočky (Zakharov, 2014).

Z mnoha článků tedy vyplývá, že Marie Curie Skłodovská pravděpodobně za celý svůj život neizolovala čisté polonium. Polonium bylo obsaženo pouze v extraktu, který byl zároveň málo koncentrovaný. Tak málo koncentrovaný extrakt by tedy pravděpodobně nemohl způsobit smrt zapříčiněnou akutní nemocí z ozáření. Nestačil by pouhý 1 mikrogram tohoto extraktu polonia, ale množství by bylo několikanásobně větší. Sice Marie Curie Skłodovská měla zdravotní potíže spojené s její prací s radioaktivními prvky, ale dožila se poměrně vysokého věku. Zemřela ve věku nedožitých 67 let. Příčina smrti byla spojená s několikaletým působením radiových paprsků.

6 ZÁVĚR

Téma této diplomové práce je: „Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc z ozáření?“. Byly zvoleny dva cíle. Prvním z cílů bylo zmapovat život a vědeckou činnost paní Curie. Druhým cílem bylo popsat příčiny a následky akutní nemoci z ozáření. Na základě tématu této diplomové práce byla stanovena jedna výzkumná otázka, jejíž název je stejný jako samotný název diplomové práce. Proč nezemřela paní Curieová na akutní nemoc z ozáření? Na základě zahraničních odborných článků a odborné publikace jsem se snažila odpovědět na tuto výzkumnou otázku.

Na otázku nelze z mého pohledu jednoznačně odpovědět. Je jasné, že smrtelná dávka, tedy dávka, která způsobuje akutní nemoc z ozáření, je v řádu mikrogramů. Pravděpodobně Marie Curie Skłodovská nemohla zemřít na následky akutní nemoci z ozáření způsobené poloniem-210, jako tomu bylo u bývalého ruského agenta Alexandra Litviněnka, který byl prostřednictvím tohoto životu nebezpečného prvku v roce 2006 zavražděn. Jak bylo odhadnuto, že i necelý jeden mikrogram postačí k usmrcení dospělé osoby. V průběhu své celoživotní vědecké práce podle mnoha odborných zdrojů pravděpodobně neizolovala čisté polonium. Tento prvek se nacházel v podobě extraktu, směsi a byl málo koncentrovaný na to, aby geniální vědkyni způsobil, třeba i při nedopatřené ingestci, inkorporaci náhlou smrt. Musela by inkorporovat mnohonásobně vyšší dávky, které by nebyly v řádu mikrogramů, ale gramů. Jelikož extrakt, směs, kterou získala po mnoha úpravách v laboratoři byla málo koncentrovaná. Zároveň s tolika gramy potřebné směsi, či s velmi koncentrovanou směsí, která by způsobila smrt, na svém pracovišti zřejmě nedisponovala.

Tato diplomová práce poskytla ucelený přehled o významné vědkyni 19. a 20. století, jenž získala za svůj život rovnou dvě Nobelovy ceny v různých oborech. Nejdříve ve fyzice a poté o několik let i v chemii. Práce může být použita v praxi jako doplňující studijní materiál. Zároveň může rozšířit povědomí široké veřejnosti o vědecké činnosti Marie Curie Skłodovské a zodpovědět některé otázky týkající se především její dlouholeté výzkumné činnosti.

Díky tomuto zvolenému tématu jsem měla možnost si prohloubit své znalosti o uznávané vědkyni a její rodině. Proniknout hlouběji do problematiky akutní nemoci z ozáření a dozvědět se nové informace. Marie Curie Skłodovská má můj velký obdiv.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Act For Libraries: Focus on Medical, Science, Health and Wellness, 2017. How Marie and Pierre Curie Discovered Polonium and Radium [online]. [cit. 2017-07-30]. Dostupné z: <http://www.actforlibraries.org/how-marie-and-pierre-curie-discovered-polonium-and-radium/>
2. ADLOFF, J.P., 1998. Les carnets de laboratoire de Pierre et Marie Curie. Note présentée à l'Académie des sciences le 18 juillet 1898 et la découverte du polonium. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* [online]. **1**(7), 457-464 [cit. 2017-07-30]. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/search?qs=Les+carnets+de+laboratoire+de+Pierre+et+Marie+Curie*&authors=&pub=&volume=&issue=&page=&origin=home&zone=qSearch
3. ADLOFF, J.P., 1999. The laboratory notebooks of Pierre and Marie Curie and the discovery of polonium and radium. *Czechoslovak Journal of Physics* [online]. **49**(S1), 15 - 28 [cit. 2017-07-31]. ISSN 0011-4626. Dostupné z: <https://link.springer.com.ezproxy.techlib.cz/article/10.1007%2Fs10582-999-0002-y>
4. ADLOFF, J.P., 2011. A Short History of Polonium and Radium. *Chemistry International* [online]., **33**(1), 20-23 [cit. 2017-07-30]. ISSN 0193-6484. Dostupné z: https://www.iupac.org/publications/ci/2011/3301/5_adloff.html
5. ANSOBORLO, E., 2014. Poisonous polonium. *Nature Chemistry* [online]. **6**(454) [cit. 2017-07-30]. ISSN 1755-4330. Dostupné z: <http://www.nature.com/nchem/journal/v6/n5/full/nchem.1928.html?foxtrotcallback=true#ref-link-2>
6. BORZENDOWSKI, J., c2009. *Marie Curie: mother of modern physics*. New York: Sterling Pub, ISBN 978-1-4027-6543-8.
7. BROŽ, I., 2010. *Slasti a strasti: příběhy ze života nositelů Nobelovy ceny a jejího zakladatele*. 2., upr. vyd. Praha: Olympia, ISBN 978-80-7376-245-2.
8. BUSZEWSKI, B., MICHEL, M., 2011. 2011—The year of Maria Skłodowska-Curie: A woman for eternity, but a Polish woman of her time. *Talanta* [online]. **86** [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0039914011007843>
9. CURIE, Marie. *Autobiographical Notes Marie Curie* [online]. Electronic Text Center, University of Virginia Library [cit. 2017-07-30]. Dostupné z:

- <http://web.archive.org/web/20110111211010/http://etext.lib.virginia.edu/etcbin/toccer-new2?id=CurPier.sgm&images=images/modeng&data=/texts/english/modeng/parsed&tag=public&part=2&division=div1>
10. CURIEOVÁ, E., 1964. *Paní Curieová*. Praha: ČSM.
 11. CURIE, E., 2013. *Maria Curie: biografia*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Rytm., ISBN 978-837-3995-352.
 12. DES JARDINS, J., 2010. *The Madame Curie complex: the hidden history of women in science*. New York, NY: Feminist Press at the City University of New York. Women writing science. ISBN 9781558616134.
 13. DICARLO, C., 2009. Polonium-210 and The Assassination of Alexander Litvinenko. *Forensic* [online] [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <https://www.forensicmag.com/article/2009/06/polonium-210-and-assassination-alexander-litvinenko>
 14. DOMINICZAK, M.H., 2011. Marie Curie-An Unusual Image. *Clinical Chemistry* [online]. **57**(4), 650-652 [cit. 2017-03-04]. ISSN 00099147. Dostupné z: <http://search.proquest.com.ezproxy.techlib.cz/docview/861327615?pq-origsite=summon#center>
 15. DRÁBKOVÁ., 2008. *Kazuistika - otrava poloniem* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://www.komorazachranaru.cz/aktualita/kazuistika-otrava-poloniem>
 16. ELLIS, H., 2009. Marie Curie: discoverer of radium. *The Journal of Perioperative Practice; Harrogate* [online]. **19**(1), 36 [cit. 2017-03-04]. ISSN 17504589. Dostupné z: <http://search.proquest.com.ezproxy.techlib.cz/docview/217762693/fulltextPDF/B5852BFCFCE94C86PQ/1?accountid=119841>
 17. Famous Scientists: *The Art of Genius*. Marie Curie. [online]. [cit. 2017-07-30]. Dostupné z: <https://www.famousscientists.org/marie-curie/>
 18. FEDER, M. Marie Curie: Chemistry, Physics, and Radioactivity. *Khanacademy* [online]. [cit. 2017-07-30]. Dostupné z: <https://www.khanacademy.org/partner-content/big-history-project/stars-and-elements/knowing-stars-elements/a/marie-curie>
 19. Finding Dulcinea, 2011. On This Day: Marie and Pierre Curie Discover Radium. [online]. [cit. 2017-07-30]. Dostupné z: <http://www.findingdulcinea.com/news/on-this-day/On-this-Day--Marie-and-Pierre-Curie-Discover-Radium-.html>
 20. FRIEDRICH, CH., REMANE, H., 2011. Marie Curie: Chemie-Nobelpreisträgerin 1911 und Entdeckerin der Elemente Polonium und Radium. *Angewandte Chemie* [online].

- 123(21), 4848 - 4854 [cit. 2017-07-30]. ISSN 0044-8249. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.ezproxy.techlib.cz/doi/10.1002/ange.201008063/full>
21. FRÖMAN, N., 1996. Marie and Pierre Curie and the Discovery of Polonium and Radium. *Nobelprize.org* [online]. [cit. 2017-07-30]. Dostupné z: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/themes/physics/curie/
22. FRY, C., THOENNESSEN, M., 2013. Discovery of the thallium, lead, bismuth, and polonium isotopes. *Atomic Data and Nuclear Data Tables* [online]. **99**(3), 365-389 [cit. 2017-07-30]. ISSN 0092-640X. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092640X12000253>
23. GALBRAITH, D. Marie Curie's laboratory in the Parisian Latin Quarter. In: *Object* [online]. [cit. 2017-07-07]. Dostupné z: <http://www.oobject.com/category/inventors-laboratories/>
24. GASINSKA, A., 2016. The contribution of women to radiobiology: Marie Curie and beyond. *Reports of Practical Oncology & Radiotherapy* [online]. **21**(3), 250-258 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S1507136715001625>
25. Gloveboxes. In: *SylaTech: Innovative gas technologies* [online]. [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <https://www.sylatech-glovebox.de/english/pmma-pp-glove-box-shop/>
26. GUILLAUMONT, R., GRAMBOW, B., 2011. Chemistry after the Discoveries of Polonium and Radium. *Chemistry International* [online]. **33**(1), 24-27 [cit. 2017-07-30]. ISSN 0193-6484. Dostupné z: https://www.iupac.org/publications/ci/2011/3301/6_guillaumont.html
27. GUILLAUMONT, R., KROH, J., PENCZEK, S., VAIRON, J.P., 2011. Celebrating One Hundred Years. *Chemistry International* [online]. **33**(1), 2-3 [cit. 2017-07-30]. ISSN 0193-6484. Dostupné z: <https://www.iupac.org/publications/ci/2011/3301/preface.html>
28. GWIAZDOWSKA, B., BULSKI, W., SOBIESZCZAK-MARCINIAK, M., 2015. Maria Skłodowska-Curie. Znane i mało znane fakty z życia Uczzonej, ciąg dalszy. *Postępy Techniki Jądrowej* [online]. **58**(1), 24-30 [cit. 2017-07-31]. ISSN 0551-6846. Dostupné z: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-b691faaf-5285-4f7f-bc5b-0135a40d3852>
29. HANUSA, 2012. Timothy. *Radium (Ra)* [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/radium#toc308414>

30. Hintergrundinformationen zu Polonium-210 und Betrachtungen zur Biokinetik und internen Dosimetrie vor dem Hintergrund des Falls Litwinenko. *Institute of Radiation Protection* [online]. 2007 [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: https://push-zb.helmholtz-muenchen.de/frontdoor.php?source_opus=46151&la=en#abstract
31. HOGUE, CH., 2013. POLONIUM. *Chemical & Engineering News* [online]. [cit. 2017-07-30]. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/cen/80th/print/poloniumprint.html>
32. HORÁK, V., 2011. Radiová horečka v Jáchymově na počátku 20. století. In: LORENCOVÁ, I. *Jáchymovský smolinec a kovové radium*. Praha: Národní technické muzeum. Rozpravy Národního technického muzea v Praze, s. 39-46. ISBN 978-80-7037-201-2.
33. Insyte consulting, 2015. Marie Curie Should Have Worn PPE. [online]. [cit. 2017-07-31]. Dostupné z: <http://www.insyte-consulting.com/blog/2015/09/innovations-in-safety-workplace-exposure>
34. JOZEFOWICH, CH., 2007. What stranger poison was used to murder a former soviet spy? *Current Science* [online]. **92**(13), 10-11 [cit. 2017-07-09]. ISSN 0011-3905. Dostupné z: <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.techlib.cz/ehost/detail/detail?vid=0&sid=9f3f7743-1088-4967-ba63-2467e193d995%40sessionmgr4009&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=24372254&db=a9h>
35. KARHAN, P., PTÁČEK, J., HUŠÁK, V., 2014. Biologické účinky ionizujícího záření. In: KORANDA, P., et al. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, s. 37-45. ISBN 978-80-244-4031-6.
36. KAŠPAR, P., 2011. Jáchymovský uraninit a Marie Curie- Sklodovská. In: LORENCOVÁ, I. *Jáchymovský smolinec a kovové radium*. Praha: Národní technické muzeum. Rozpravy Národního technického muzea v Praze, s. 5-8. ISBN 978-80-7037-201-2.
37. KEAN, S., 2016. *Mizející lžíce, růžový sníh a jiskřící bonbóny: fascinující příběhy o vědě, šílenství a lásce z periodické tabulky prvků*. Praha: Grada Publishing, ISBN 978-80-247-5844-2.
38. KOŘÍNKOVÁ, D., 2008. *Geochemické a radiometrické vlastnosti přírodních izotopů radia*. Praha. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Vedoucí práce Mgr. Viktor Goliáš, Ph.D.

39. KUNA, P., NAVRÁTIL, L., 2005. *Klinická radiobiologie*. Praha: Manus. ISBN 80-865-7109-2.
40. KUPKA, K., KUBINYI, J., ŠÁMAL, M., 2007. *Nukleární medicína: [učební text]*. Praha: P3K. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-903584-9-2.
41. KORANDA, P., et al., 2014. *Nukleární medicína: [učební text]*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-244-4031-6.
42. LANGEVIN-JOLIOT, H., KROH, J., 2011. A Biographical Sketch. *Chemistry International* [online]. **33**(1), 8-11 [cit. 2017-07-30]. ISSN 0193-6484. Dostupné z: https://www.iupac.org/publications/ci/2011/3301/2_bio_sketch.html
43. LANGEVIN-JOLIOT, H., 2011. Marie Curie and Her Time. *Chemistry International* [online]. **33**(1), 4-7 [cit. 2017-07-31]. ISSN 0193-6484. Dostupné z: https://www.iupac.org/publications/ci/2011/3301/1_Langevin-Joliot.html.
44. LORENCOVÁ, I., 2011. Osobnost Marie Curie- Sklodowské. Radium v chemii a technologii. In: LORENCOVÁ, I. *Jáchymovský smolinec a kovové radium*. Praha: Národní technické muzeum. Rozpravy Národního technického muzea v Praze, s. 9-15. ISBN 978-80-7037-201-2.
45. MACHOVCOVÁ, A., 2014. Profesionální kožní nemoci z povolání. In: *Nemoci z povolání a intoxikace: [učební text]*. 3., dopl. vyd. Praha: Karolinum, s. 41-49. ISBN 978-80-246-2597-3.
46. Marie Curie Led Science - and Women Scientists - to a New Age. *Chemical Engineering Progress* [online]. 2011, **107**(3), 72 [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://search.proquest.com.ezproxy.techlib.cz/docview/858466044/fulltextPDF/A89C93BB0E9744B3PQ/1?accountid=119841>
47. Marie Curie in her Paris laboratory. In: *Encyclopædia Britannica* [online]. [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/biography/Marie-Curie>
48. Marie Curie - Nobel Lecture. *Nobelprize.org: The Official Web Site of the Nobel Prize* [online]. [cit. 2017-07-30]. Dostupné z: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1911/marie-curie-lecture.html
49. Marie Curie and her daughter Irène. In: *Nobelprize.org* [online]. [cit. 2017-08-09]. Dostupné z: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/marie-curie-photo.html

50. MARCH, C., 2010. Happy Birthday, Marie Curie, Discoverer of Radium. *Finding Dulcinea* [online]. [cit. 2017-07-31]. Dostupné z: <http://www.findingdulcinea.com/features/profiles/c/marie-curie.html>
51. MATOUŠEK, J., ÖSTERREICHER, J., LINHART, P., 2007. *CBRN: jaderné zbraně a radiologické materiály*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-029-6.
52. MEIßNER, T., 2015. Krankhaft fasziniert vom Zauberlicht Marie Curie. *Heilberufe* [online]. **67**(4), 67 [cit. 2017-03-11]. ISSN 1867-1535. Dostupné z: <http://link.springer.com.ezproxy.techlib.cz/article/10.1007%2Fs00058-015-1449-9>
53. MUÑOZ PÁEZ, A., 2013. Marie Skłodowska-Curie y la radioactividad. *Educación Química* [online]. **24**(2), 224 - 228 [cit. 2017-07-31]. ISSN 0187-893X. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0187893X13724662?via%3Dihub>
54. NOVÁKOVÁ, O., 2007. Základní fyzikální pojmy. In: *Nukleární medicína: [učební text]*. Praha: P3K, s. 19-22. ISBN 978-80-903584-9-2.
55. NAVRÁTIL, L., 2008. *Vnitřní lékařství pro nelékařské zdravotnické obory*. Praha: Grada. ISBN 978-802-4723-198
56. OWEN, R., 2016. *The Litvinenko Inquiry: Report into the death of Alexander Litvinenko*. UK: Williams Lea Group. ISBN ISBN 9781474127332
57. PASACHOFF, N., 2005. Marie Curie and the Science of Radioactivity. *American Institute of Physics* [online]. [cit. 2017-07-30]. Dostupné z: <http://history.aip.org/history/exhibits/curie/curie.pdf>
58. PASACHOFF, N., 1997. *Marie Curie and the science of radioactivity*. Pbk. [ed.]. New York: Oxford University Press. ISBN 01-951-2011-6.
59. PATOČKA, J., NAVRÁTIL, L., KUNA, P., 2007. Radiotoxikologie polonia. *Vojenské zdravotnické listy* [online]. **LXXVI**(3), 105-107 [cit. 2017-07-09]. ISSN 0372-7025. Dostupné z: https://www.unob.cz/fvz/fakulta/Documents/VZL/2007/VZL3_07.pdf
60. PELCLOVÁ, D., et al., 2014. *Nemoci z povolání a intoxikace*. 3., dopl. vyd. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-2597-3.
61. PENTREATH, R.J., 2014. News and Information. *Radiation Protection and Environment* [online]. **37**(3), 184-185 [cit. 2017-07-30]. Dostupné z: <http://www.rpe.org.in/article.asp?issn=0972-0464;year=2014;volume=37;issue=3;page=184;epage=185;aulast=Pushparaja>

62. PETELENZ, B., 2013. Marie Skłodowska-Curie – on the shoulders of giants, thinking outside the box. *CHEMIK* [online]. **67**(8), 675–682 [cit. 2017-07-30]. ISSN 0009-2886. Dostupné z: <http://www.chemikinternational.com/year-2013/year-2013-issue-8/marie-skłodowska-curie-on-the-shoulders-of-giants-thinking-outside-the-box/>
63. Pierre and Marie Curie. In: *Nobelprize.org* [online]. [cit. 2017-08-09]. Dostupné z: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/marie-curie-photo.html
64. Polonium. *Periodická tabulka* [online]. 2009-2017b [cit. 2017-07-07]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/84.html>
65. Polonium-210. *Health Physics Society: Specialists in Radiation Safety* [online]. 2010 [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: <https://hps.org/documents/po210factsheet.pdf>
66. Polonium-210 Poisoning. *Ionactive consulting* [online]. 2006 [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: http://www.ionactive.co.uk/news_article.html?n=42
67. POUZAR, M., 2010. S kanónem na vrabce aneb úkladná vražda pomocí polonia 210. *Anthropologia integra* [online]. **1**(1), 107-109 [cit. 2017-07-07]. ISSN 1804-6665. Dostupné z: https://journals.muni.cz/anthropologia_integra/article/view/1913
68. Radium. *Periodická tabulka* [online]. 2009-2017a [cit. 2017-07-07]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/88.html>
69. RADVANYI, 2013. Pierre. The discussion between P. Curie and E. Rutherford (1900–1904). *The European Physical Journal H* [online]. **38**(4), 433–441 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://link.springer.com.ezproxy.techlib.cz/article/10.1140%2Fepjh%2Fe2013-30019-8>
70. RAFALSKA-ŁASOCHA, A., 2012. Marie Skłodowska-Curie as a role model for scientists. *Catalysis Today* [online]. **191**(1), 1-5 [cit. 2017-07-30]. ISSN 0920-5861. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092058611200209X>
71. REMANE, H., FRIEDRICH, CH., 2011. Marie Curie: Chemie-Nobelpreisträgerin 1911 und Entdeckerin der Elemente Polonium und Radium. *Angewandte Chemie* [online]. **123**(21), 4848–4854 [cit. 2017-03-11]. ISSN 1521-3757. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.ezproxy.techlib.cz/doi/10.1002/ange.201008063/abstract>
72. ROSENWALD, J.C., FRIDTJOF, N., 2013. Marie Curie's contribution to Medical Physics. *Physica medica: PM : an international journal devoted to the applications of physics to medicine and biology : official journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB)* [online]. **29**(5), 423-425 [cit. 2017-07-30]. ISSN 1724-191X. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S1120179713002408>

73. SARTORI, É., 2005. *Velikáni francouzské vědy: od Ambroise Paré po Pierre a Marie Curie*. Praha: Krigl. ISBN 80-869-1200-0.
74. SCOTT, B.R., 2007. Health Risk Evaluations for Ingestion Exposure of Humans to Polonium-210. *Dose Response* [online]. **5**(2), 94–122 [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2477690/>
75. SEIDLEROVÁ, I., SEIDLER, J., 2007. *Jáchymovská uranová ruda a výzkum radioaktivity na přelomu 19. a 20. století*. Praha: Společnost pro dějiny věd a techniky. Práce z dějin techniky a přírodních věd. ISBN 978-80-7037-002-5.
76. South African Radiographer, 2011. Marie Curie : biography : person of interest. [online]. **49**(1), 26-29 [cit. 2017-03-04]. ISSN 0258-0241. Dostupné z: <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.techlib.cz/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=68f44e4b-c549-42d7-b583-49cce55d5437%40sessionmgr4010&vid=1&hid=4112>
77. ROSINA, J., 2013. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4237-3.
78. ROSINA, J., KOLÁŘOVÁ, H., STANEK, J., 2006. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada. ISBN 80-247-1383-7.
79. SKWARZEC, B., 2011. Maria Skłodowska-Curie (1867–1934)—her life and discoveries. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* [online]. **400**(6), 1547 - 1554 [cit. 2017-07-30]. ISSN 1618-2642. Dostupné z: <https://link.springer.com.ezproxy.techlib.cz/article/10.1007%2Fs00216-011-4771-3>
80. *Spectrum Science* [online]. North Carolina: An imprint of Carson- Dellosa Publishing, 2015 [cit. 2017-07-31]. ISBN 978-1-4838-1523-7
81. STROHMEIER, R., 2011. Marie Skłodowska-Curie (1867–1934). In: *European Women in Chemistry* [online]. Wiley-VCH, s. 39-45 [cit. 2017-07-31]. ISBN 3527329560. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.ezproxy.techlib.cz/book/10.1002/9783527636457>
82. ŠTEFAN, J., HLADÍK, J., 2012. *Soudní lékařství a jeho moderní trendy*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3594-8.
83. ŠTĚTINA, J., 2014. *Zdravotnictví a integrovaný záchranný systém při hromadných neštěstích a katastrofách*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4578-7.

84. TIKKANEN, A., 2017. Marie Curie. *Britannica ACADEMIC* [online]. [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://academic.eb.com.ezproxy.techlib.cz/levels/collegiate/article/Marie-Curie/28252>
85. VOBECKÝ, M., 2011. Chemické zpracování smolince v Jáchymově (uranová žlutá radium-yellow cake). In: LORENCOVÁ, I. *Jáchymovský smolinec a kovové radium*. Praha: Národní technické muzeum. Rozpravy Národního technického muzea v Praze, s. 34-38. ISBN 978-80-7037-201-2.
86. Vyhláška č. 422/2016Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2017-08-08]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>
87. VYTISKA, T., 2012. Jak jsme na tom s uranem. *Třípól* [online]. [cit. 2017-08-08]. Dostupné z: <http://www.3pol.cz/cz/rubriky/medicina-a-prirodoveda/808-jak-jsme-na-tom-s-uranem>
88. WACŁAWEK, W., WACŁAWEK, M., 2011. Marie Skłodowska-Curie and her contributions to chemistry, radiochemistry and radiotherapy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* [online]. **400**(6), 1567–1575 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://link.springer.com.ezproxy.techlib.cz/article/10.1007%2Fs00216-011-4922-6>
89. ZAKHAROV, S., 2014. Poškození ionizujícím zářením. In: *Nemoci z povolání a intoxikace: [učební text]*. 3., dopl. vyd. Praha: Karolinum, s. 63-75. ISBN 978-80-246-2597-3.
90. ZEMAN, L., 2011. Záře a stíny smolince na tváři města Jáchymova aneb co smolinec v Jáchymově způsobil. In: LORENCOVÁ, I. *Jáchymovský smolinec a kovové radium*. Praha: Národní technické muzeum. Rozpravy Národního technického muzea v Praze, , s. 31-33. ISBN 978-80-7037-201-2.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků

Obrázek 1: Marie Curie Skłodowská v laboratoři	60
Obrázek 2: Marie a Pierre v laboratoři l'Ecole de physique et chimie industrielles v Paříži.	62
Obrázek 3: Laboratoř Marie Curie Skłodowské v pařížské latinské čtvrti	63
Obrázek 4: Rukavicová skříň používaná v dnešní době v laboratořích při manipulaci s nebezpečnými prvky	65
Obrázek 5: Marie Curie Skłodowská a její dcera Irène v nemocnici Hoogstade v Belgii v roce 1915.....	68

Seznam tabulek

Tabulka 1: Hmotnost členů rozpadových řad uranu v radioaktivní rovnováze v 1 tuně přírodního uranu	12
Tabulka 2: Tkáňové váhové faktory w_t	23
Tabulka 3: Časový a dávkový profil jednotlivých forem akutní nemoci z ozáření	28
Tabulka 4: Manifestace klinických známek radiační dermatitidy v závislosti na čase po ozáření a dávce.....	32
Tabulka 5: Časový průběh jednotlivých stupňů radiační dermatitidy	33
Tabulka 6: Základní charakteristiky radia	36
Tabulka 7: Izotopy radia s jejich poločasy rozpadu	39
Tabulka 8: Základní charakteristiky polonia	40
Tabulka 9: Poločasy rozpadu nejvýznamnějších radioizotopů polonia	42
Tabulka 10: Potřebné množství polonia-210 k usmrcení člověka	48
Tabulka 11: Specifické aktivity	57
Tabulka 12: Srovnání čistého polonia-210 a vyrobeného extraktu (300x)	58
Tabulka 13: Srovnání čistého polonia-210 a vyrobeného extraktu (400x).....	59

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Čestné tituly udělené Marii Curie Skłodowské

Příloha B Medaile udělené Marii Curie Skłodowské

Příloha C Ceny udělené Marii Curie Skłodowské

PŘÍLOHA A

Čestné tituly udělené Marii Curie Skłodowské

1904 Čestný člen Císařské společnosti přátel přírodních věd, antropologie a národopisu, od 1. prosince.

1904 Čestný člen Královské společnosti Velké Británie, od 9. května.

1904 Zahraniční člen Chemické společnosti v Londýně, od 18. května.

1904 Dopisující člen Batavské filosofické společnosti, od 15. září.

1904 Čestný člen Fyzikální společnosti v Mexiku.

1904 Čestný člen Mexické akademie věd, od 4. května.

1904 Čestný člen Společnosti pro podporu průmyslu a obchodu ve Varšavě.

1906 Dopisující člen Učené společnosti argentinské, od 6. listopadu.

1907 Zahraniční člen Učené společnosti nizozemské, od 25. května.

1907 Doktorka honoris causa právnické fakulty edinburské university, od 2. února.

1908 Dopisující člen Carské akademie věd v Petrohradě, od 29. ledna.

1908 Čestný člen Spolku pro přírodní vědy v Brunšviku, od 10. března.

1909 Doktorka honoris causa lékařské fakulty ženevské university.

1909 Dopisující člen Akademie věd v Bologni, od 31. března.

1909 Zahraniční člen České akademie věd a umění.

1909 Čestný člen Farmaceutického ústavu ve Filadelfii, od 27. září.

1910 Dopisující člen Učené společnosti chilské, od 19. prosince.

1910 Člen Americké filosofické společnosti, od 23. března.

1910 Zahraniční člen Královské švédské akademie věd.

1910 Člen Americké chemické společnosti, od 1. března.

- 1910 Čestný člen Fyzikální společnosti v Londýně.
- 1911 Čestný člen Společnosti pro psychická bádání v Londýně, od 1. února.
- 1911 Dopisující zahraniční člen Portugalské akademie věd, od 19. dubna.
- 1911 Doktorka honoris causa přírodovědecké fakulty university v Manchesteru, od 24. listopadu.
- 1912 Čestný člen Belgické chemické společnosti, od 16. dubna.
- 1912 Činný člen Carského ústavu pro pokusnou medicínu v Petrohradě, od 12. dubna.
- 1912 Čestný člen Filosofické společnosti při Lvovské univerzitě.
- 1912 Člen Fotografické společnosti ve Varšavě.
- 1912 Doktorka honoris causa polytechniky ve Lvově.
- 1912 Čestný člen Společnosti přátel vědy ve Vilně, od 20. července.
- 1912 Mimořádný člen Královské akademie věd (sekce matematicko- fyzikální) v Amsterdamě, od 21. května.
- 1913 Doktorka honoris causa university v Birminghamu.
- 1913 Čestný člen Společnosti pro vědu a umění v Edinburghu, od 15. ledna.
- 1914 Čestný člen Filosofické společnosti v Cambridge, od 30. května.
- 1914 Čestný člen Vědeckého ústavu v Moskvě, od 1. března.
- 1914 Čestný člen Hygienického ústavu v Londýně, od 15. dubna.
- 1914 Dopisující člen Akademie přírodních věd ve Filadelfii, od 22. dubna.
- 1915 Čestný člen Fyzikálně- medicínské společnosti při univerzitě v Moskvě, od 1. března.
- 1918 Čestný člen Královské španělské společnosti pro medicínální elektrologii a radiologii, od 1. dubna.

1919 Čestná předsedkyně Královské španělské společnosti pro medicínální elektrologii a radiologii, od 25. dubna.

1919 Čestná ředitelka Radiologického ústavu v Madridě, od 5. července.

1919 Čestný profesor university ve Varšavě.

1919 Člen Chemické společnosti polské.

1920 Řádný člen Královské dánské akademie věd a umění.

1921 Doktorka honoris causa přírodovědecké fakulty university v Yale, od 10. června.

1921 Doktorka honoris causa přírodovědecké fakulty university v Chicagu, od 18. července.

1921 Doktorka honoris causa přírodovědecké fakulty North- western University, od 15. června.

1921 Doktorka honoris causa přírodovědecké fakulty Smith College, od 13. května.

1921 Doktorka honoris causa přírodovědecké fakulty Wellesley College, od 12. července.

1921 Doktorka honoris causa Women's Medical College v Pensylvanii, od 23. května.

1921 Doktorka honoris causa přírodovědecké fakulty Columbijské university, od 1. června.

1921 Doktorka honoris causa právnické fakulty university v Pittsburghu, od 7. června.

1921 Čestný člen Přírodovědecké společnosti v Buffalu, od 16. června.

1921 Čestný člen Mineralogického klubu v New Yorku, od 20. dubna.

1921 Čestný člen Severoamerické radiologické společnosti.

1921 Čestný člen Novoanglické společnosti profesorů chemie, od 14. dubna.

1921 Čestný člen Amerického přírodovědného muzea, od 20. dubna.

1921 Čestný člen Společnosti pro průmyslovou chemii, od 13. července.

- 1921 Člen Akademie v Kristianii, od 18. března.
- 1921 Doživotní čestný člen Knoxovy akademie věd a umění, od 18. června.
- 1921 Čestný člen American Radium Society, od 29. července.
- 1921 Čestný člen Norské společnosti pro medicínální radiologii, od 15. října.
- 1921 Čestný člen Alliance française v New Yorku, od 10. června.
- 1922 Mimořádný člen Lékařské akademie v Paříži, od 7. února.
- 1923 Čestný člen Rumunské společnosti pro medicínální hydrologii a klimatologii, od 10. ledna.
- 1923 Doktorka honoris causa právnické fakulty university v Edinburghu, od 9. července.
- 1923 Čestný člen Jednoty československých matematiků a fyziků v Praze, od 20. ledna.
- 1924 Čestný občan města Varšavy.
- 1924 Vyryté jméno (spolu s jménem Pasteurovým) nad jedním z křesel v Town Hallu v New Yorku.
- 1924 Čestný člen Polské chemické společnosti ve Varšavě.
- 1924 Doktorka honoris causa lékařské fakulty university v Krakově, od 25. února.
- 1924 Doktorka honoris causa filosofické fakulty university v Krakově, od 25. února.
- 1924 Čestný člen Společnosti pro psychická bádání v Athénách, od 15. prosince.
- 1925 Čestný občan města Rigy.
- 1925 Čestný člen Lékařské společnosti v Lublině, od 4. července.
- 1926 Řádný člen „Pontificia Tiberina“ v Římě, od 31. března.
- 1926 Čestný člen Chem. společnosti v Sao Paulo, od 12. srpna.
- 1926 Čestný člen Brazílské federace pro pokrok ženského hnutí, od 25. srpna.
- 1926 Čestný člen Společnosti pro chemii a farmacii v Sao Paulu, od 17. července.

1926 Čestný člen Svazu brazilských lékárníků, od 23. července.

1926 Doktorka honoris causa chemické fakulty polytechniky ve Varšavě.

1927 Čestný člen Moskevské akademie věd, od 4. ledna.

1927 Zahraniční člen České přírodovědecké a filosofické společnosti, od 12. ledna.

1927 Čestný člen Sovětské akademie věd, od 2. února.

1927 Čestný člen Interstate Postgraduate Medical Association of North America.

1927 Čestný člen Novozélandského ústavu, od 8. února.

1929 Čestný člen Společnosti přátel vědy v Poznani, od 6. března.

1929 Doktorka honoris causa práv. fakulty university v Glasgowě, od 1. června.

1929 Čestný občan města Glasgowa.

1929 Doktor honoris causa přírodovědecké fakulty university v Saint Lawrence, od 26. října.

1929 Čestný člen Polské lékařské a zubolékařské společnosti v Americe, od 1. října.

1930 Čestný člen Newyorské lékařské akademie, od 7. ledna.

1930 Čestný člen Francouzské společnosti vynálezců a učenců, od 5. března.

1930 Čestný předseda Francouzské společnosti vynálezců a učenců, od 16. června.

1931 Čestný člen Světového sdružení pro mír v Ženevě.

1931 Čestný člen American College of Radiology, od 16. dubna.

1931 Zahraniční dopisující člen Akademie exaktních a přírodních věd v Madridě, od 25. dubna.

1932 Člen Císařské německé akademie přírodovědných badatelů v Halle, od 18. března.

1932 Čestný člen Lékařské společnosti ve Varšavě, od 28. června.

1932 Čestný člen Československé chemické společnosti, od 24. září.

1933 Čestný člen Britského ústavu pro radiologii a rentgenologii v Londýně (Curieová, 1964).

PŘÍLOHA B

Medaile udělené Marii Curie Skłodowské

1903 Medaile Berthelotova (společně s Pierrem Curiem).

1903 Čestná medaile města Paříže (společně s Pierrem Curiem).

1903 Davyho medaile Královské společnosti v Londýně (společně s Pierrem Curiem), 5. listopadu.

1904 Medaile Matteucciho Italské učené společnosti (společně s Pierrem Curiem), 8. srpna.

1908 Veliká zlatá medaile Kuhlmannova od Průmyslové společnosti v Lille, 19. ledna.

1909 Zlatá medaile Elliota Cressona od Franklinova ústavu, 6. ledna.

1910 Albertova medaile od Královské společnosti umění v Londýně, 4. července.

1919 Velkokříž občanského řádu Alfonse XII. španělského, 28. dubna.

1921 Medaile Benjamina Franklina od Americké filosofické společnosti ve Filadelfii.

1921 Medaile Johna Scotta od Americké filosofické společnosti ve Filadelfii, 13. dubna.

1921 Zlatá medaile Národního ústavu pro sociální vědy v New Yorku.

1921 Medaile Williama Gibbse od Americké chemické společnosti v Chicagu.

1922 Zlatá medaile Radiologické společnosti severoamerické, 8. prosince.

1924 Záslužná medaile první třídy od rumunské vlády, 4. srpna.

1929 Medaile newyorské organizace amerického Women's Clubu.

1931 Medaile American College of Radiology, 16. dubna (Curieová, 1964).

PŘÍLOHA C

Ceny udělené Marii Curie Skłodowské

1898 Cena Gegnerova, Akademie věd v Paříži, 12. prosince.

1900 Cena Gegnerova, Akademie věd v Paříži, 3.800 franků, 11. prosince.

1902 Cena Gegnerova, Akademie věd v Paříži, 3.800 franků, 14. prosince.

1903 Nobelova cena za fyziku (společně s H. Becquerelem a Pierrem Curiem).

1904 Cena Osiris, udělená Syndikátem pařížského tisku (společně s E. Branlym, 60.000 franků), 4. ledna.

1907 Actonian Prize od Královského ústavu britského, 100 guineí, 6. kvěrna.

1911 Nobelova cena za chemii.

1921 Richardsova cena za výzkumy, 2.000 dolarů.

1924 Velká cena markýze d'Argenteuil na rok 1923, s bronzovou medailí, od Společnosti pro podporu národního průmyslu 12.000 franků, 15. března.

1931 Cameronova cena, udělená universitou v Edinburghu (Curieová, 1964).