Becquerelov eksperiment

Straka, Dunja

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:624313

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**

Repository / Repozitorij:

Repository of Department of Physics in Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU

DUNJA STRAKA

BECQUERELOV EKSPERIMENT

Diplomski rad

Osijek, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU

DUNJA STRAKA

BECQUERELOV EKSPERIMENT

Diplomski rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku

radi stjecanja akademskog naziva magistra edukacije fizike i informatike

Osijek, 2017.

Ovaj diplomski rad izrađen je u Osijeku pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Vanje Radolića i sumentora Igora Miklavčića, pred. u sklopu Sveučilišnog diplomskog studija Fizike i informatike na Odjelu za fiziku, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Prilikom izvođenja pokusa, došlo je do suradnje s Umjetničkom akademijom Sveučilišta u Osijeku i doc. art. Vjeranom Hrpkom te s Hrvatskim prirodoslovnim muzejom u Zagrebu i Ivanom Razumom, kojima smo neizmjerno zahvalni na potrebnim materijalima, priboru i radioaktivnim mineralima.

Također, zahvaljujem se mami koja je sve kolokvije i ispite prošla zajedno sa mnom.

Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku
Odjel za fiziku

Diplomski rad

BECQUERELOV EKSPERIMENT

DUNJA STRAKA

Sažetak:

U diplomskom radu rekonstruiran je eksperiment kojim je otkriveno radioaktivno zračenje. Rad se sastoji od dva dijela. U prvom, teorijskom dijelu, opisan je život i otkriće Antoina Henria Becquerela te vrste i izvori radioaktivnog zračenja. Nakon fizikalnog dijela, slijedi kratak uvod u osnove fotografije s prikazom procesa razvijanja fotografskog filma. U eksperimentalnom dijelu, rekonstruiran je Becquerelov eksperiment korištenjem dva minerala (uraninit i zippeit) te su prikazani rezultati dobiveni ozračivanjem fotografskog filma.

(43 stranice, 32 slike, 1 tablica, 31 literaturni navod)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: Becquerelov eksperiment / radioaktivnost / fotografija

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vanja Radolić

Sumentor: Igor Miklavčić, pred.

Ocjenjivač: doc. dr. sc. Marina Poje Sovilj, mr. sc. Slavko Petrinšak

Rad prihvaćen: 27. lipnja 2017.

J. J. Strossmayer in Osijek
Department of Physics

Bachelor of Science Thesis

BECQUEREL EXPERIMENT

DUNJA STRAKA

Abstract:

In this Bachelor thesis, the reconstruction of Becquerel's experiment which led to discovery of radioactivity is presented. It is devided into two main parts: in first, the theoretical part, the life and discovery of Antonie Henri Becquerel is described as well as types and sources of radioactivity. Afterwards, the short introduction to photography, with process of chemical treatment of a photographic film is presented. In the experimental part, the reconstruction of the Becqurel's experiment, with using two minerals (uraninite and zippeite) was preformed and the results of irradiation of photographic films are presented.

(43 pages, 32 pictures, 1 table, 31 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: Becquerel experiment / radioactivity / photography

Supervisor: Vanja Radolić, PhD, Associate Professor

Co-supervisor: Igor Miklavčić, Lecturer

Reviewers: doc. dr. sc. Marina Poje Sovilj, mr. sc. Slavko Petrinšak

Thesis accepted: June, 27., 2017.

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Teorijski dio 2

2.1. Životopis Antoine Henri Becquerel 2

2.2. Otkriće radioaktivnosti 4

2.3. Što je radioaktivnost? 9

2.4. Vrste radioaktivnog zračenja 10

2.4.1. Alfa raspad 11

2.4.2. Beta minus (-) raspad 12

2.4.3. Beta plus (+) raspad 14

2.4.4. Gama raspad 16

2.5. Izvori radioaktivnog zračenja 18

2.6. Fotografija 20

2.6.1. Fotografski film 22

2.6.2. Kako radioaktivni materijali utječu na fotografski film 25

2.6.3. Razvijanje fotografskog filma 26

2.6.4. Negativ i pozitiv 28

3. Eksperimentalni dio 29

3.1. Uranij 30

3.1.1. Uraninit 31

3.1.2. Zippeit 32

3.2. Pokus 1: Rekonstrukcija Becquerelovog pokusa - fotografski negativ radioaktivnog minerala (radiogram) 33

3.3. Pokus 2: Fotografski pozitiv radioaktivnog minerala (radiogram) u ovisnosti od vremena ekspozicije 35

3.4. Pokus 3: Fotografski negativ radioaktivnog izvora (radiogram) 37

4. Zaključak 39

5. Literatura.....40

6. Životopis.....43

1. Uvod

Prije otkrića radioaktivnosti i njegovog biološkog utjecaja, čovjek nije bio svjestan opasnosti od ionizirajućeg zračenja. Iako su ljudi svakodnevno izloženi ionizirajućem zračenju, ne razmišljaju previše o njemu jer ga direktno ne mogu osjetiti. Posljedice njegovog djelovanja indirektno se primjećuju tek nakon dugotrajnog izlaganja visokim vrijednostima (od nekoliko godina do nekoliko desetaka godina).

Zračenje koje ima dovoljno veliku energiju, da u međudjelovanju s tvari ionizira tu tvar naziva se ionizirajuće zračenje. Ono predaje tvari dio ili svu svoju energiju pa predana energija mijenja svojstva ozračene tvari. To su promjene energijskog stanja atoma ili sastava atoma i atomske jezgre pri čemu se emitiraju fotoni ili neke od elementarnih čestica. Posljedice međudjelovanja zračenja i tvari mogu biti pozitivna i negativna, međutim više se spominju negativni učinci zračenja.

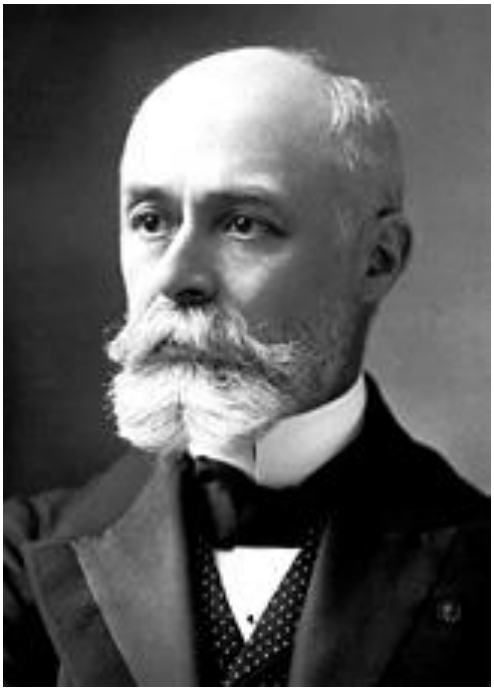
Izvori ionizirajućeg zračenja mogu biti prirodni i umjetni. Neka zračenja su oduvijek prisutna na Zemlji (potječu iz vremena formiranja Zemlje), neka zračenja nastaju kao posljedica kozmičkog zračenja (izvor im je izvan našeg Sunčevog sustava), a neka su posljedica korištenja tehnologije (razni nuklearni reaktori, nuklearno oružje ili dijagnostički medicinski uređaji). Također, prirodno zračenje potječe i od Sunca koje obuhvaća radio-valove, mikrovalove, infracrveno zračenje, vidljivu svjetlost, ultraljubičasto zračenje te rendgensko zračenje.

U ovom diplomskom radu korišteni su prirodni radioaktivni minerali koji sadrže uranij: uraninit i zippeit koji su postavljeni na fotografski film koji se nalazi u kasetama. Nakon određenog vremena izlaganja, minerali su skinuti i razvijen je film. Na sličan način kao što je Becquerel otkrio prirodnu radioaktivnost, rekonstruiran je pokus kako bismo potvrdili utjecaj radioaktivnih materijala na fotografski film.

2. Teorijski dio

2.1. Životopis Antoine Henri Becquerel

Antoine Henri Becquerel rođen je u Parizu 15. prosinca 1852. godine u uglednoj obitelji znanstvenika. Njegov otac, Alexander Edmond Becquerel bio je profesor primijenjene fizike te je istraživao utjecaj Sunčevog zračenja na fosforescenciju, a njegov djed Antoine Cèsar Becquerel bio je član Kraljevskog društva i izumitelj elektrolitičke metode za vađenje metala iz ruda. U ranom djetinjstvu, Antoine Henri Becquerel je pokazivao interes za znanost. Napunivši dvadeset godina, 1872. godine upisuje studij politehnike, a pri završetku studija ostaje raditi kao profesor primijenjene fizike na sveučilištu Ècole Polytechnic.



Slika 1: Antoine Henri Becquerel

(http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-bio.html)

(Dostupno:8.6.2017.)

Na Slici 1 je Antoine Henri Becquerel koji je svoju mladost posvetio istraživanju u optici. Njegova prva važnija istraživanja bavila su se zakretanjem linearno polariziranog svjetla uz pomoć magnetskih polja. Nakon toga, okrenuo se mjerenjima utjecaja infracrvenog svjetla na određene kristale koji pod njima fosforesciraju.

Doktorirao je 1888. godine na Fakultetu znanosti u Parizu, čija je glavna tema bila apsorpcija svjetlosti u kristalima. Daljnjim istraživanjima, 1896. godine otkrio je radioaktivnost za vrijeme

proučavanja fosforescencije uranijeve soli. Ovim otkrićem, Antoine Becquerel je dobio Nobelovu nagradu, 1903. godine "*...zbog izvanrednih zasluga koje je ostvario svojim otkrićem spontane radioaktivnosti*". Podijelio ju je s Marie i Pierre Curie koji su također proučavali radioaktivne elemente. Sam naziv „radioaktivnost“, Becquerel nikad nije koristio.

Académie des Sciences, društvo poznatih znanstvenika imenovalo ga je za tajnika 1908. godine, no njegov rad na Académie des Sciences nije bio dugotrajan jer je umro te iste godine u 55. godini života. Iako je njegov uzrok smrti bio nepoznat, opekline na koži koje je imao u trenutku smrti nastale su tijekom dugogodišnjeg rukovanja radioaktivnim materijalima te se nakon dugog niza godina mogla utvrditi smrt. Danas nam je jasno kako je uzrok smrti mogla biti velika i dugotrajna izloženost radioaktivnom zračenju. U to vrijeme štetnost radioaktivnog zračenja nije bila poznata pa se Becquerel nije štitio tijekom rukovanja s radioaktivnim materijalima.

2.2. Otkriće radioaktivnosti

Otkriće rendgenskih zraka vodilo je prema otkriću radioaktivnosti. Rendgenske zrake je otkrio Wilhelm Konrad Röntgen 1895. godine. Tijekom pokusa s modificiranom Crookesovom vakuumskom cijevi, koju je predložio Philipp Lenard (s katodom od platine), došlo je do neočekivane pojave. Nakon što je isisao sav zrak iz cijevi, napunio ju je plinom i spojivši elektrode na visoki električni napon, zaslon od papira (koji se tu nalazio zbog izvođenja drugog pokusa) premazan posebnim fluorescentnim materijalom je zasvijetlio. Röntgen je zamotao cijev i u crni neprozirni papir, no zaslon koji se nalazio nekoliko koraka od cijevi je i dalje svijetlio. Shvatio je kako je cijev proizvela dotad neviđenu „nevidljivu svjetlost“ ili zrake koje prolaze kroz crni neprozirni papir. Novootkrivene zrake je nazvao X-zrake jer se s X označava nepoznanica u matematici. Kroz dodatne pokuse, pokazao je kako X-zrake prolaze kroz različite tvari, ali ne i kroz određeni sloj olova. 28. prosinca 1895. godine, Fizičkom zavodu Sveučilišta u Würtzburgu priložio je fotografsku ploču sa snimkom ženine ruke koju vidimo na Slici 2. Ovim pokusom je zaključio kako zrake mogu prolaziti i kroz ljudsko tkivo i kosti, koje ih drugačije apsorbiraju te mogu na fotografskoj ploči ostaviti otisak. Vijest o otkriću X-zraka se brzo proširila po svijetu pa su se već početkom 1896. godine upotrebljavale u medicini (dijagnostika, radiografija), tehnici, kemijskoj i farmaceutskoj industriji, znanosti, umjetnosti i arheologiji.

Slika 2: Rendgenski snimak ruke gospođe Röntgen

(https://www.nde-ed.org/EducationResources/HighSchool/Radiography/discoveryxrays.htm)

(Dostupno: 8.6.2017.)

Ubrzo su X-zrake nazvane „rendgenske zrake“ u njegovu čast. Raznim pokusima se utvrdilo pravocrtno širenje zraka jer ih se nije moglo otkloniti ni u električnom ni u magnetskom polju, kao ni pri prolazu kroz leću.

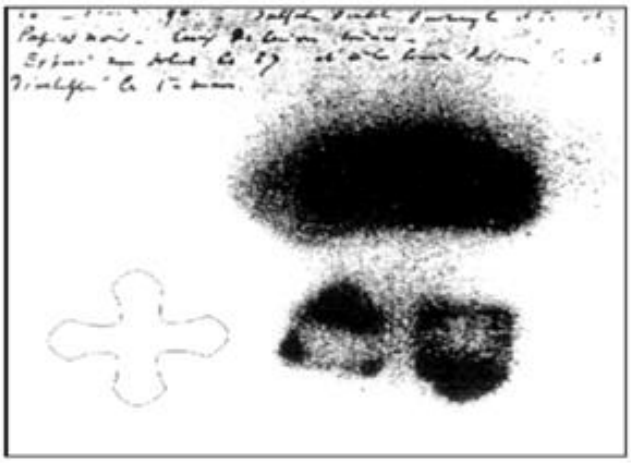
Danas je poznato kako je rendgensko zračenje vrsta elektromagnetskih valova valnih duljina između 10 pm i 10 nm, što znači kako je valna duljina tisuću puta manje od valne duljine vidljive svjetlosti. Rendgenske zrake se smatraju ionizirajućim zračenjem jer izbijaju elektrone iz atoma u tvari kojom prolaze.

Ubrzo su svi podaci o rendgenskim zrakama bili objedinjeni. Francuski fizičar i matematičar Henri Poincaré na zasjedanju Pariške akademije, iznio je pretpostavku o vezi fluorescencije i pojave rendgenskih zraka. Vjerovao je kako su X-zrake dobivene od fluorescencije tvari. Na zasjedanju je bio Henri Becquerel koji je htio provjeriti Poincaréovu pretpostavku. U radionici svog oca je pronašao dvosol kalijeva i uranijeva sulfata $[K_2UO_2(SO_4)_2 2H_2O]$. Fotografsku ploču je umotao u crni, nepropusni papir te je izveo pokus s fluorescencijom. Na zamotanu fotografsku ploču je postavio mineral i ostavio ga nekoliko sati na Sunčevom svjetlu. Nakon razvijanja fotografske ploče na njoj je ostao jasan otisak minerala. Becquerel je pretpostavio kako dvosol kalijeva i uranijeva sulfata, dok fluorescira na Sunčevom svijetlu, ispušta zrake koje prolaze kroz crni, nepropusni papir. Želeći iznijeti svoje postignuće Pariškoj akademiji, Becquerel je želio provjeriti svoju pretpostavku izvodeći eksperiment ponovno. Bila je veljača i nekoliko je dana bilo oblačno pa je odgodio eksperiment. Zamotanu fotografsku ploču i mineral stavio je u ladicu radnog stola. U nedjelju, 1. ožujka 1896. godine razvio je fotografsku ploču bez izlaganja Sunčevom svjetlu jer je sutradan trebao izložiti svoje postignuće Pariškoj akademiji. Mineral je ostavio trag i bez prethodnog osvjetljivanja Sunčevim svjetlom. Daljnjim istraživanjem je pokazao kako uranijeve soli ispuštaju nevidljive zrake bez prethodnog izlaganja Sunčevoj svjetlosti.

Međutim, ova pojava je već bila poznata. Naime, Nièpce de Saint-Victor[1] je primijetio kako neke soli u potpunom mraku ostavljaju trag na „goloj“ fotografskoj ploči (nije bilo zaštitnog crnog papira). Ubrzo se ustvrdilo kako su soli uranija bile odgovorne za ovu pojavu. Nièpceov mentor, Michel Eugène Chevreul ističe kako uranijeve soli ostavljaju trag na fotografskoj ploči i šest mjeseci nakon neizlaganja Suncu. Nièpce je, 1861. godine, naveo kako uranijeve soli emitiraju zračenje koje je nevidljivo ljudskom oku. Nedugo nakon ovog otkrića, Edmond Becquerel (1868. godine) u knjizi La Lumière (Svjetlo: njegovi uzroci i učinci) objavljuje kako materijali koji su

[1] Nièpce de Saint-Victor- francuski izumitelj fotografije.
https://en.wikipedia.org/wiki/Abel_Ni%C3%A9pce_de_Saint-Victor

premazani uranijevim solima ostavljaju trag na fotografskoj ploči te spominje Nièpeovo otkriće.Tu pojavu je Antoine Henri Becquerel modificirao stavljanjem zaštite između uzorka i fotografske ploče, čime je zaključio o postojanju nevidljivih zraka koje prolaze kroz crni papir te ih je nazvao „uranijevim zrakama“, a koje su se kasnije u njegovu čast nazivale i Becquerelovim zrakama. Izvodio je mnogo eksperimenata tijekom kojih je postavljao različite novčiće i križeve između minerala i fotografske ploče kako bi provjerio domet zraka. Na Slici 3 se vidi kako je postavljen Malteški metalni križ između minerala i fotografske ploče i sjenu Malteškog križa, koja se danas opisuje kao apsorpcija gama zraka u metalima.



Slika 3: Prikaz radioaktivnih elemenata na fotografskoj ploči

(https://reich-chemistry.wikispaces.com/fall.2008.mma.vitali.timeline)

(Dostupno:8.6.2017.)

Becquerelovo otkriće motiviralo je mnoge znanstvenike među kojima su najistaknutiji bračni par Curie koje vidimo na Slici 4. Maria Skłodowska-Curie započela je istraživanje radioaktivnih pojava proučavajući uranij i uranijev smolinac. Otkrili su nove kemijske elemente (polonij i radij), a 1903. godine je obranila i doktorsku disertaciju pod nazivom „Istraživanje radioaktivnih tvari“ ("Recherches sur les substances radioactives").

Slika 4: Bračni par Curie

(http://www.atomicheritage.org/profile/marie-curie)

(Dostupno: 8.6.2017.)

Uz pomoć vrlo osjetljivog kvarcnog elektrometra, kojega je ranije konstruirao Pierre, Marie je mjereći uzorke, primijetila dvije vrlo važne stvari: torij zrači kao uranij i intenzitet zračenja ne ovisi o spojevima u kojima se uranij i torij nalaze. Intenzitet zračenja ovisi samo o količini uranija i torija u nekom spoju. Proučavajući različite uzorke koje je posudila iz geološkog muzeja, primijetila je kako neki uzorci zrače više, a neki manje. Ovim putem je došla do hipoteze kako se u nekim rudama nalaze i novi elementi koji imaju veći intenzitet zračenja od uranija. Kako bi potvrdili ideju, uradili su novi pokus u kojem su kemijskim putem razdvojili pojedine elemente iz uzoraka koji su im bili dostupni. Krajem lipnja 1898. godine, objavljeno je izdvajanje nove tvari, kemijskog elementa koji je 300 puta aktivniji od uranija. U radu je objavljeno:

„*Stoga vjerujemo da supstanca koju smo izdvojili iz uranijevog smolinca sadrži metal koji do sada nije poznat, a srodan je svojim analitičkim svojstvima bizmutu. Ako se postojanje tog novog elementa potvrdi, predlažemo da ga se nazove polonij, po imenu zemlje podrijetla jednog od nas.*“[2]

Nekoliko mjeseci kasnije, u prosincu 1898. godine su obavijestili *l' Acadèmie des Sciences* kako su otkrili i drugi, novi aktivni kemijski element koji se ponaša slično kao barij te su predložili naziv radij. Za otkriće radija i polonija dobiva Nobelovu nagradu za kemiju. Sam pojam radioaktivnosti uvela je Marie Currie.

[2] Otkriće radija 1898.: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/30/017/30017619.pdf

1906. godine Pierre umire tragičnim putem pod teretnim kolima na pariškoj ulici. Velika tragedija pogodila je Marie, ali ona vrlo brzo nastavlja s daljnjim istraživanjem. Odbila je patentirati postupak izolacije radija, kako bi i drugi znanstvenici mogli obavljati istraživanja na tom području. Dugogodišnjom izloženošću raznim radioaktivnim elementima, Marie je oboljela od leukemije. U vrijeme pionirskih istraživanja radioaktivnosti, štetne posljedice radioaktivnosti nisu bile poznate te se Marie Curie i suradnici nisu štitili od zračenja. Poznato je da su bilješke koje je zapisivala za vrijeme eksperimentiranja (čak i kuharica s raznim receptima!) i danas radioaktivne pa se čuvaju u olovnoj kutiji. Umrla je 4. srpnja 1934. godine od posljedica prekomjernog ozračivanja.

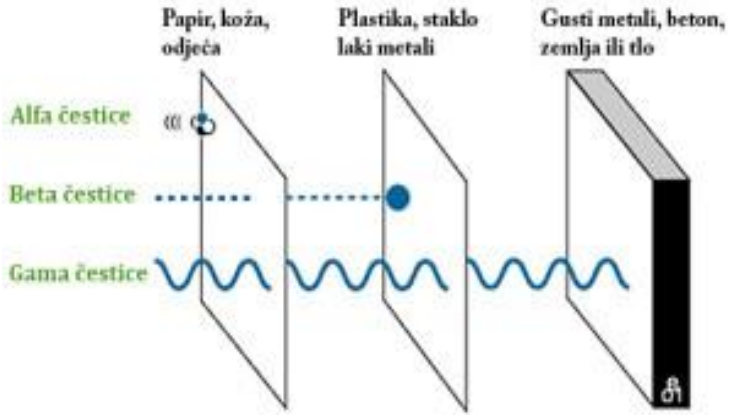
2.3. Što je radioaktivnost?

Radioaktivnost je naziv za svojstvo nekih vrsta atomskih jezgri koje se spontano mijenjaju ili dijele i pri tome emitiraju čestice i/ili elektromagnetske valove. Vrste jezgri koje su radioaktivne (nestabilne jezgre) nazivaju se radionuklidima, a emitirane čestice i elektromagnetski valovi nazivaju se radioaktivnim zračenjem. Spontane promjene nestabilnih jezgri nazivaju se radioaktivnim zračenjem.

Naziv radioaktivnost se upotrebljava u dva značenja u svakidašnjem govoru. Koristi se za opisivanje pojave i za svojstvo tvari, odnosno sredstva u kojemu se događaju takve pojave. Također, radioaktivnost kao pridjev se koristi pri opisivanju radioaktivnih pojava i za svojstva tvari.

2.4. Vrste radioaktivnog zračenja

Nakon otkrića radioaktivnosti, mnogi znanstvenici su započeli s istraživanjem ove nove pojave. Ernest Rutherford[3], želio je provjeriti jesu li Becquerelove zrake, vrsta X-zraka. Kao učenik Josepha Johna Thomsona, bio je u mogućnosti koristiti Cavendishov laboratorij. 1898. godine Rutherford je pokazao da postoje dvije različite vrste zračenja tijekom rada s J. J. Thomsonom. Proučavali su ponašanje iona u plinovima koji su bili izloženi X-zračenju, pritom su proučavali i pokretljivost iona u odnosu na snagu električnog polja. Tijekom proučavanja radioaktivnog zračenja uranija otkrivene su alfa i beta čestice. Prodornost ovih čestica je bila različita, kao što vidimo na Slici 5. Alfa čestice imaju malu prodornost, svega nekoliko centimetara u zraku te ih može zaustaviti papir ili ljudska koža, no ukoliko se unesu u tijelo tvari koje zrače alfa čestice, hranom ili udisanjem, mogu biti jako opasne. Beta čestice imaju veću prodornost, nekoliko metara u zraku. Zaustavlja ih metalna ploča od nekoliko milimetara debljine. U ljudsko tijelo prodiru do nekoliko centimetara dubine, a za zdravlje je opasno ukoliko se unese u ljudski organizam. Za razliku od alfa i beta, prodornost gama čestica je veća, prolaze kroz ljudsko tijelo, a može ih zaustaviti samo materijal kao što je olovo ili beton.



Slika 5: Prodornost alfa, beta i gama zraka.

[3] Ernest Rutherford rođen je 30. kolovoza 1871. godine na Novom Zelandu. Već kao mladi učenik dobiva stipendiju i odlazi u Cambridge, Engleska, gdje se počinje baviti istraživanjem radioaktivnih pojava. Smatra se prvim znanstvenikom koji je pretvorio jedan kemijski element u drugi tijekom pokusa ozračivanja dušikovih atoma α česticama. 1908. godine dobiva Nobelovu nagradu za kemiju.

2.4.1. Alfa raspad

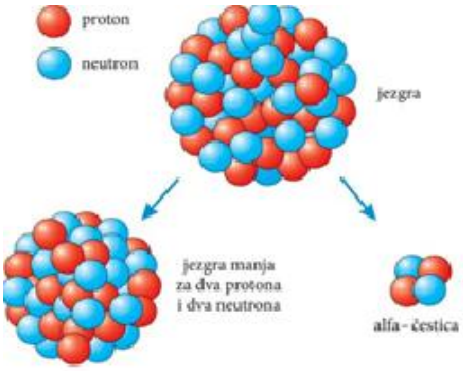
Danas je poznato da je alfa čestica identična jezgri helija, a sastoji se od dva protona i dva neutrona. Označavamo ju s grčkim slovom alfa (α). Atomi koji emitiraju alfa čestice imaju visoke atomske brojeve koji su veći od 82, a maseni broj veći od 200.

Alfa radioaktivnost se može objasniti tako da se početna jezgra (jezgra roditelj), sa Z protona i N neutrona, pretvara u drugu jezgru (jezgra kćeri) s dva protona i dva neutrona manje i pritom emitira alfa česticu (jezgru helija). Alfa raspad se može zapisati putem jednadžbe

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He$$

gdje je X kemijski simbol elementa kojem pripada jezgra roditelj, a Y kemijski element kojem pripada jezgra kćeri.

Najvažniji alfa emiteri su: ^{241}Am (americij), ^{236}Pu (plutonij), ^{238}U (uranij), ^{232}Th (torij), ^{226}Ra (radij) i ^{222}Rn (radon). Koriste se u raznim industrijskim procesima. Radij se koristi za liječenje karcinoma, a americij za stvaranje električne struje u detektorima dima.



Slika 6: Alfa raspad radija

(http://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost/)

(Dostupno: 8.6.2017.)

Na Slici 6 se vidi raspad radija. Tijekom raspada ^{226}Ra (radij) emitira alfa česticu i nastaje nova jezgra (jezgra kćeri) radionuklida ^{222}Rn (radon).

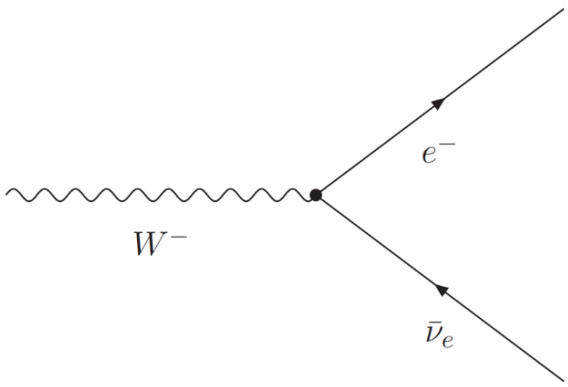
Raspad radija može se zapisati na sljedeći način:

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{222}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$$

2.4.2. Beta minus (-) raspad

Beta minus raspadu podložne su nestabilne jezgre koje imaju viška neutrona u jezgri. Pri beta minus raspadu, jedan neutron se pretvara u proton, uz zračenje W- bozona koji se raspada odmah nakon što je nastao. Na slici 7 se vidi kako pri raspadu W- bozona nastaje elektron i antineutrino što se može zapisati pomoću sljedeće jednadžbe.

$$n^0 \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}$$



Slika 7: Feynmanov dijagram: Raspad W- bozona

(https://kjende.web.cern.ch/kjende/en/wpath_lhcphysics2.htm)

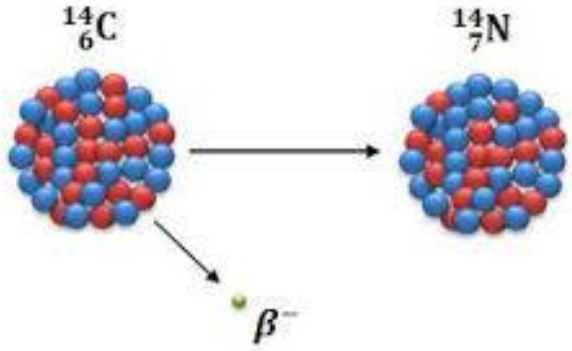
(Dostupno: 8.6.2017.)

Krajnji rezultat pri ovom procesu broj neutrona N se smanji za 1, a protona Z se poveća za 1.

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}X + {}_{-1}^{0}e^- + \tilde{\nu}$$

$${}_{-1}^{0}e^- = \beta$$

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}X + {}_{-1}^{0}\beta^- + \tilde{\nu}$$



Slika 8: Beta minus raspad ugljika

(http://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost_Primjena%20u%20medicini_povjerenstvo_Z.pdf)

(Dostupno: 8.6.2017.)

Na Slici 8 se vidi beta minus raspad ugljika. Izotop se ugljika $^{14}_{6}C$ beta minus raspadom transformira u dušik $^{14}_{7}N$.

Raspad ugljika se može zapisati na sljedeći način:

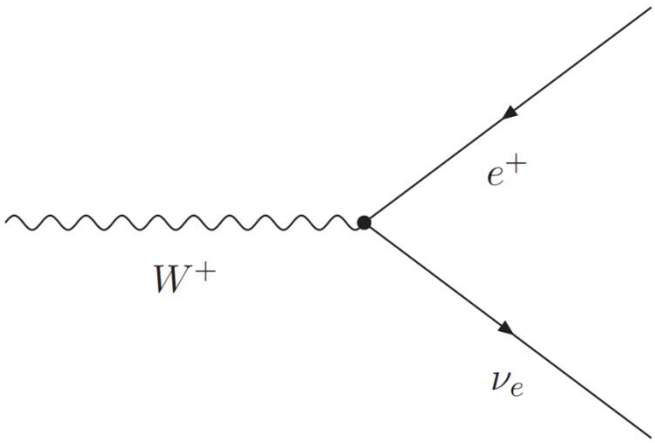
$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e^{-} + \tilde{\nu}$$

Značajni beta minus emiteri su: ^{32}P (fosfor), ^{14}C (ugljik). Upotrebljavaju se u medicinskoj dijagnostici i liječenju, ali i u industrijskim instrumentima koji služe za mjerenje debljine vrlo tankih materijala.

2.4.3. Beta plus (+) raspad

Beta plus raspadu podložne su nestabilne jezgre s viškom protona. Pri beta plus raspadu proton se raspada u neutron, uz zračenje W+ bozona koji se raspada odmah nakon što je nastao. Na Slici 9 se vidi kako pri raspadu W+ bozona nastaje pozitron i neutrino, što se može zapisati pomoću slijedeće jednadžbe

$$p \rightarrow n^0 + e^+ + \nu$$



Slika 9: Feynmanov dijagram: Raspad W+ bozona

(https://kjende.web.cern.ch/kjende/en/wpath_lhcphysics2.htm)

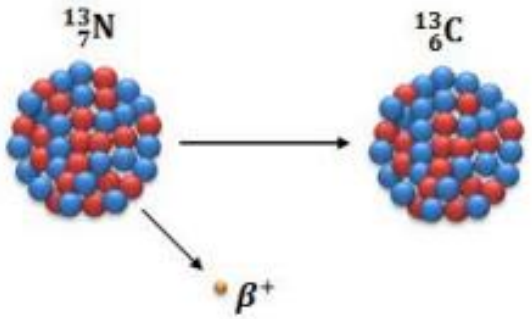
(Dostupno: 8.6.2017.)

Krajnji rezultat pri ovom procesu broj neutrona N se poveća za 1, a protona Z se smanji za 1.

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}X + {}_{+1}^{0}e^+ + \nu$$

$${}_{+1}^{0}e^+ = \beta^+$$

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}X + {}_{+1}^{0}\beta^+ + \nu$$



Slika 10: Beta plus raspad dušika

(http://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost_Primjena%20u%20medicini_povjerenstvo_Z.pdf)

(Dostupno: 8.6.2017.)

Na Slici 10 se vidi beta plus raspad dušika. Izotop se dušika $^{13}_{7}N$ beta plus raspadom transformira u ugljik $^{13}_{6}C$.

Raspad dušika se može zapisati na sljedeći način:

$$^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + {}_{+1}^{0}e^{+} + \nu$$

Značajni beta plus emiteri su: ^{11}C (ugljik), ^{13}N (dušik), ^{124}I (jod) [13], a koriste se u medicinskoj dijagnostici.

2.4.4. Gama raspad

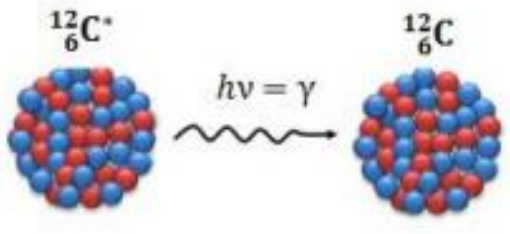
Gama zrake otkrivene su nedugo nakon otkrića X-zraka, alfa i beta zračenja. Gama zrake otkrio je Paul Villard, francuski fizičar, tijekom istraživanja radijeve soli u olovnom spremniku puštajući snop zračenja kroz uski otvor preko tankog sloja olova znajući kako će olovo zaustaviti alfa čestice. Dokazao je kako se tako propuštene zrake sastoje od dvije vrste zračenja. Beta zračenje je skrenulo u magnetskom polju, a novo zračenje nije. Novo otkriveno zračenje bilo je prodornije nego ostala zračenja. Villard je bio skroman čovjek i nije odredio naziv za novu vrstu zračenja. 1903. godine Ernest Rutherford je predložio naziv za novootkrivene zrake, gama zrake. Kao što je spomenuto, prodornost gama zraka je velika. Prolaze kroz ljudsko tijelo, a može ih zaustaviti olovo ili beton. Uzmimo za primjer ^{137}Cs (cezij), potreban je sloj 0,7 cm olova kako bi umanjio zračenje, a oko 5 cm da intenzitet umanji na razinu od 1% početnog zračenja. Prolaskom kroz ljudsko tijelo mogu izazvati opekline, smanjenje eritrocita i leukocita te mogu izazvati upale rožnice. Ipak, gama zrake mogu biti korisne. Najznačajniji gama emiter je ^{60}Co (kobalt), a koristi se za sterileziranje medicinske opreme, pasteriziranje hrane i liječenje karcinoma. Također, još važni emiteri su ^{137}Cs (cezij), (služi pri liječenju karcinoma i koristi se u istraživanjima nafte) i ^{99}Th (tehnecij-metastabilni) (medicinska dijagnostika).

Dosadašnjim mjerenjima utvrđeno je kako gama zračenje čine elektromagnetski valovi najkraćih valnih duljina (od 0,4 pm do 42,8 pm). Imaju najkraću valnu duljinu, ali najveću frekvenciju i energiju fotona.

Tijekom alfa i beta raspada, dogodio se prijelaz iz jednog kemijskog elementa u drugi kemijski element. Kod gama raspada ne dolazi do novog kemijskog elementa, već atomska jezgra prelazi iz stanja više energije u stanje niže energije i tijekom tog procesa emitira gama foton. Ovim procesom atomska jezgra prelazi u stabilnije stanje.

Općenito gama raspad možemo prikazati na sljedeći način:

$$^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{0}\gamma$$



Slika 11: Gama raspad ugljika

(http://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost_Primjena%20u%20medicini_povjerenstvo_Z.pdf)

(Dostupno: 8.6.2017.)

Na Slici 11 se vidi gama raspad ^{12}C koji se može zapisati na sljedeći način:

$$^{12}_{6}C^{*} \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{0}_{0}\gamma$$

Tijekom gama raspada, emitira se gama čestica u obliku elektromagnetskog vala izrazito velike frekvencije, ali i energije.

2.5. Izvori radioaktivnog zračenja

U pokusu koji je izveden, korišteni su prirodni izvori zračenja koji se mogu pronaći u stijenama, pijesku ili tlu. Izvori zračenja se dijele na prirodne i umjetne.

Prirodni izvori zračenja su posljedica raspadanja prirodno nestabilnih nuklida. Čovjek je izložen prirodnom izvoru zračenja koje nije posljedica ljudskog djelovanja i na njih nije moguće utjecati. Prirodno zračenje čini kozmičko zračenje, zračenje iz tla i ljudskog tijela.

Kozmičko zračenje dolazi iz svemira i sadrži čestice vrlo visoke energije. Prolaskom kroz atmosferu Zemlje, intenzitet kozmičkog zračenja opada. Do površine Zemlje dolaze mioni, elektroni i mali broj nabijenih čestica i neutrona. Godišnja ekvivalentna doza na otvorenom prostoru, nultoj nadmorskoj visini i srednjim geografskim širinama iznosi oko 0,3 mSv.

Zračenje iz tla i zidova građevina u kojima ljudi borave, ovisi o udjelu radioaktivnih izotopa u tlu i građevinskom materijalu. Radioaktivnost tla potječe od uranija ^{238}U, torija ^{232}Th i kalija ^{40}K. Ekvivalentna doza zračenja iz tla ovisi o sastavu tla i o lokaciji. U srednjeeuropskim zemljama ekvivalentna doza zračenja iz tla iznosi od 0,2 mSv do 5 mSv. U okolici Zagreba, srednja ekvivalentna doza zračenja iznosi 1,14 mSv. Najveće doze zračenja iz tla i zidova, daju zidovi izrađeni od materijala kao što je tvrdi kamen i opeka s dodatkom troske. Najpovoljniji materijal za izradu zidova kuća je drvo pa onda čista opeka. Zna se kako se danas sve više kuća gradi od opeke tako da što su zgrade i kuće novije, ukućani su manje izloženi radioaktivnosti. Prosječna godišnja ekvivalentna doza zračenja iz zidova nove kuće ili zgrade iznosi 0,7 mSv.

U ljudskom tijelu također postoje prirodni radioaktivni nuklidi. Prirodni nuklidi se nalaze u zraku, vodi, hrani i u ljudskom tijelu pa disanjem, jedenjem i pijenjem čovjek unosi radioaktivne nuklide u svoj organizam te se tako ozračuje. Srednje godišnje doze unutrašnjeg ozračivanja veće su od ozračivanja prirodnim putem. Na unutrašnje ozračivanje utječu radioaktivni nuklidi koje se unesu u tijelo, a to su najčešće članovi uranijevog niza (uranij ^{238}U, radij ^{226}Ra, radon ^{222}Rn) te torijevog niza (torij ^{232}Th).

Osim prirodnog zračenja postoje i umjetna zračenja. Umjetno zračenje dolazi od raznih izvora ionizirajućeg zračenja koje je stvorio čovjek za korištenje u medicini, znanstvenim istraživanjima, proizvodnju energije pomoću nuklearnih reaktora i vojne svrhe. Neki od umjetnih radioaktivnih izvora su jako štetni. Radioaktivni otpad iz industrije i nuklearnih elektrana odlazi u atmosferu i širi se putem zraka, ozračuje vodu i hranu koju ljudi unose u tijelo pa tim putem budu ozračeni. U

medicini se koriste prirodna zračenja za dijagnostičke i terapeutske svrhe. Srednja ekvivalentna doza ozračivanja u medicini je oko 0,4 mSv.

U Tablici 1, vide se iznosi ekvivalentnih doza za neke vrste pretraga koje se obavljaju u medicini svaki dan. Vidi se kako zračenja pojedinih pregleda iznose nekoliko mikro-siverta (μSv), što nije veliki intenzitet zračenja što dovodi do zaključka kako ovakvo zračenje može biti korisno u medicinske svrhe.

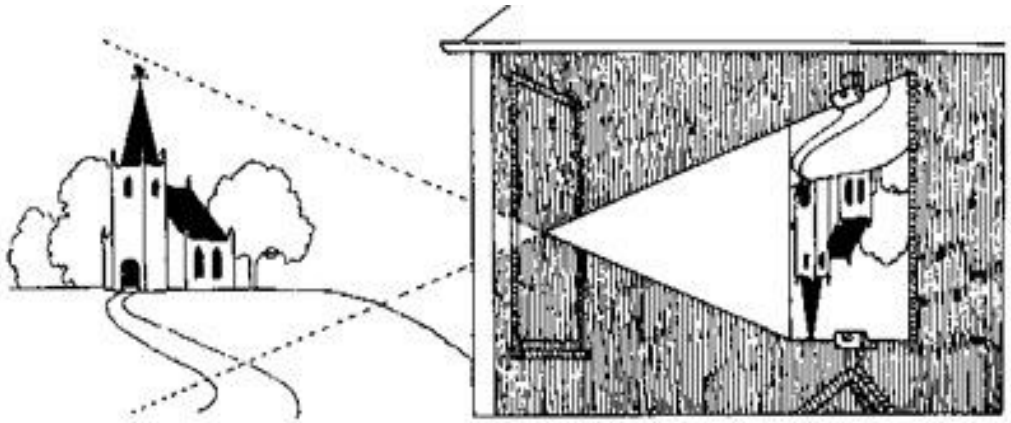
Tablica 1: Ekvivalentne doze za pojedine vrste pretraga

Vrsta pretrage	Ekvivalentna doza
Rendgen prsnog koša	80 μSv
Slikanje ekstremiteta	10 μSv
Zubni rendgen	100 μSv
Rendgen glave/vrata	200 μSv
Rendgen kralježnice (cervikalni dio)	220 μSv
Rendgen kralježnice (lumbalni dio)	1,30 μSv
Rendgen kuka	830 μSv

2.6. Fotografija

Riječ fotografija dolazi iz grčkog jezika od riječi φως (phos - „svjetlo“) i γραφις (graphis - „crtanje“) što bi značilo „crtanje pomoću svjetla“. Krajem 19. stoljeća, fotografske ploče su dostupnije u većem broju i mnogi znanstvenici ih koriste za izvođenje pokusa.

U 4. stoljeću prije naše ere, Aristotel je primijetio kako svjetlost prolazi kroz rupicu u zamračenoj prostoriji i stvara sliku na zidu koja je neoštra i neprepoznatljiva. Ime camera obsura dobila je po latinskom nazivu, što u prijevodu znači „zamračena soba“. Veliki korak u povijesti fotografije je bila praktična primjena camere obscure. Guardi i Canallet, slikari talijanske renesanse, služili su se camerom obscurom za izradu svojih slika Venecije. Leonardo da Vinci je 1490. godine prvi zabilježio mogućnosti camere obscure. Za izradu camere obscura dovoljna je zatamnjena kutija koja ne propušta svjetlost, unutrašnjosti obojene u crno i mala rupa koja služi kao objektiv. U idućih 50 godina osnovnoj su napravi dodane dvije važne tehničke novosti: leća i zaslon.



Slika 12: Camera obscura

(http://camera-obscura.co.uk/camera_obscura/camera_make.asp)

(Dostupno: 8.6.2017.)

Na Slici 12 je prikazan princip rada camere obscure. Princip rada je sličan načinu nastajanja slike u našem oku. Riječ je o centralnoj projekciji, gdje zrake svjetlosti prolaze kroz mali otvor na jednoj od ploha kutije te se na suprotnoj plohi, zaslonu, pojavljuje slika objekta koji se nalazi ispred camere obscure. Za zaslon se koristi fotoosjetljiva površina (foto-film ili foto-papir) i nakon eksponiranja (otvaranje otvora), koje može trajati od nekoliko minuta pa do nekoliko sati dobivamo sliku. Veličina slike ovisi o udaljenosti predmeta od kamere i otvora (objektiva) do zaslona. Što je objektiv manji, slika je oštrija i tamnija, a izokrenuta je u odnosu na okomicu.

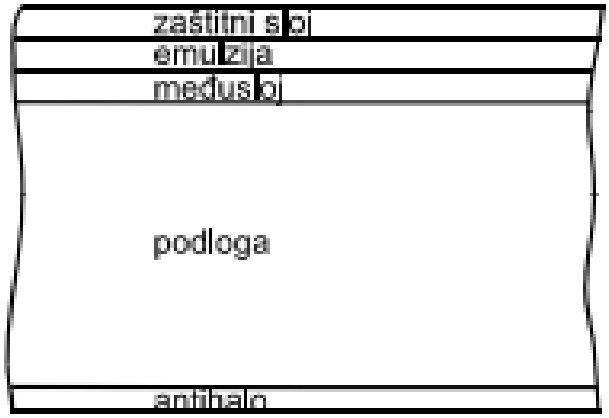
Problem izokrenute slike riješio je u 16. stoljeću Giovanni Battistadella Porta, stavljanjem zrcala pod kutom od 45º na os otvora i tako je okrenuo sliku u pravom smjeru. Plohu, gdje se slika ocrtava, zamijenili su staklom i papirom kako bi dobili sliku s vanjske strane kamere. Na ovaj način je bilo lakše precrtati sliku, no često se slika nije mogla precrtati jer je bila jako tamna ili mutna. Ovaj problem je riješio Daniele Barbaro u 16. stoljeću. kada je umjesto obične rupice koja služi kao otvor postavio bikonveksnu leću. Pomoću nje su se dobile jasnije i svijetlije slike koje su se mogle precrtati. Prvi korak ka trajnom očuvanju fotografije napravio je Johann Heinrich Schulze, koji je u 17. stoljeću napravio prvi fotoosjetljivi materijal pa camera obscura više nije „mračna prostorija“ već postaje „mračna kutija“ što znači da je bila prenosiva. U 19. stoljeću Joseph Nicéphore Niépce je napravio prvu pravu fotografiju. Sama ekspozicija je trajala čak osam sati zbog jako slabe fotoosjetljivosti premazane ploče u samom fotografskom aparatu. U suradnji sa fotografom J. Daguerreom, uspio je usavršiti ovaj postupak pa se on danas zove dagerotipija[4]. Istovremeno, William Fox Talbot je izumio postupak koji je nazvan kalotipija kod kojeg je rezultat bio negativ iz kojeg se moglo izraditi više fotografija. Negativ je papir koji je premazan sa slojem srebrnog klorida pa sliku se nije moglo lako uništiti. Zbog sličnosti sa današnjim tehnikama smatra se pretečom fotografskog filma. Kalotipiju je usavršio George Eastman koji je izradio sloj od suhog gela i tako omogućio da se fotoosjetljivi sloj postavi na papir ili film nakon čega nije bilo potrebe za fotografskim pločama, što je olakšalo samu izradu fotografije. 1900. godine je na tržište izašla kamera Eastmanove tvrtke Kodak pod nazivom „Kodak Brownie“, a bila je dostupna svima.

[4] Dagerotipija je prvi praktički primjenljiv fotografski postupak za dobivanje trajne slike

2.6.1. Fotografski film

Imajući na umu Becquerelov pokus, urađen je pokus na fotografskom filmu, jer fotografske ploče kakve je on originalno koristio nisu dostupne .

Fotografski film je tanki komad plastike osjetljiv na svijetlo. Na Slici 13 vidi se shematski prikaz fotografskog filma za crno bijelu fotografiju sastavljen od pet slojeva.



Slika 13: Građa fotografskog filma

(http://fotografija.grf.unizg.hr/media/download_gallery/4%20Film%20i%20snimanje%20klasi%C4%8Dnim%20fotografskim%20aparatom.pdf)

(Dostupno: 9.6.2017.)

Zaštitni sloj se nalazi na vrhu foto materijala i štiti emulziju od oštećenja. Za razliku od drugih slojeva, zaštitni sloj je debljine 1 nm.

Drugi sloj je fotoosjetljivi sloj, a koristi se još naziv emulzija. Emulzija je spoj želatine i sitnih kristalića srebrnih halogenida (najčešće bromida) jer je spoj srebra s halogenim elementima osjetljiv na svjetlo. Na osvjetljenim dijelovima sloja dolazi do fotolize[5] srebrnih halogenida i izlučivanja crnih zrnaca elementarnog srebra. Njihova gustoća je proporcionalna intenzitetu svjetlosti, ali nedovoljna da bi slika postala vidljiva. Latentnu sliku kemijskom obradom se pretvara u vidljivu sliku, otpornu na svijetlo. Drugi, vrlo važan sastav emulzije je želatina. U želatini su raspršeni srebrni halogenidi. Želatina je polipeptid životinjskog podrijetla koji služi kao nosač fotosenzibilnih kristala zrna emulzije. Ona ima funkciju da poveže srebrne halogenide, ali i

[5] Fotoliza je kemijska reakcija razgradnje tvari djelovanjem elektromagnetskog zračenja. http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=20261

spriječi njihovo gomilanje na jednom mjestu pa se time povećava osjetljivost foto slojeva. Debljina fotoosjetljivog sloja se kreće od 5 do 20 nm.

Međusloj povezuje emulziju s podlogom, a služi kako ne bi došlo do kemijske reakcije između materijala.

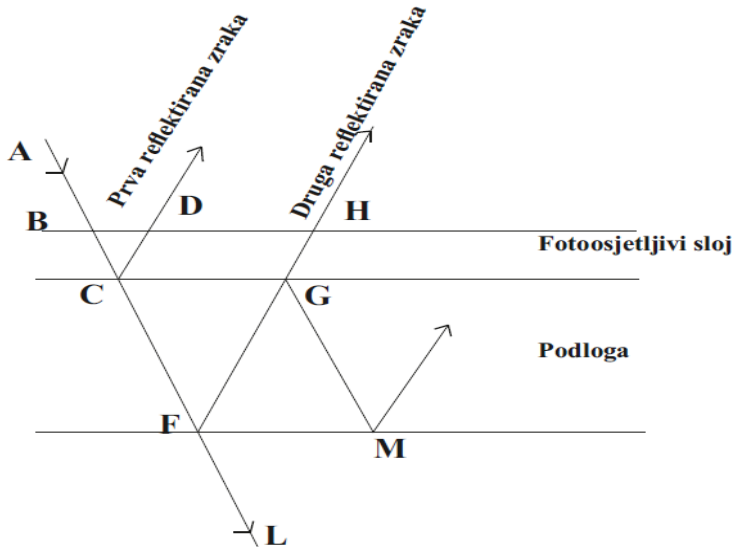
Nakon međusloja nalazi se podloga. Prema vrsti nosača fotoosjetljivog sloja razlikujemo fotografski film (od celuloznog triacetata ili poliestera), papir i ploču.

Fotografska ploča za podlogu ima staklo. Proizvodi se samo u ograničenim formatima, odnosno samo za unaprijed određene formate. Staklene ploče moraju biti plan-paralelnih površina i ne smiju imati ogrebotine ili mjehuriće zraka na sebi. Sama debljina ploče ovisi o formatu ploče, a može biti od 0,7 mm do 2,4 mm. Za razliku od fotografske ploče, fotografski film za sloj ima plastični savitljivi materijal - polimer. Debljina polimera ovisi o formatu filma, a može biti od 0,1 mm do 0,25 mm što vidimo kako su fotografski filmovi tanji u odnosu na fotografsku ploču. Za razliku od fotografske ploče i filma, fotografski papir za podlogu ima papir, polukarton ili karton čija je masa po površini iznosi od 80 do 280 g/m^2.

Donji zaštitni sloj nazivamo anti-halo sloj. Kod fotografskih filmova ima dvojaku ulogu. Anti-halo sloj se sastoji od obojene želatine i sintetičkog laka koji sprječava nastajanje halo-efekta[6]. Do neželjenog halo-efekta može doći raspršenjem svijetla o zrnca srebrnog halogenida i refleksijom svijetlosti na zadnjoj površini podloge fotografskog sloja. Kao rezultat vidimo sjaj na rubovima filma zbog prejake obrade.

Na Slici 14 vidi se nastajanje halo-efekta. Zraka svjetlosti upada na fotoosjetljivi sloj (emulziju) i dolazi do podloge (točka C). Dio zrake se odmah reflektira u točku D, a drugi dio zrake prolazi kroz podlogu i na drugoj površini u točki F se ponovno dijeli na dva dijela. Jedan dio zrake se reflektira ponovno kroz podlogu i izlazi kroz fotoosjetljivi sloj van, a drugi izlaz van kroz podlogu. Vidimo kako se u točki G jedan dio zrake ponovno vratio u podlogu do točke M i ponovno se odbio u točki M. Ako je podloga deblja, samim time je i udaljenost između B i H veći što dovodi do izraženijeg halo-efekta.

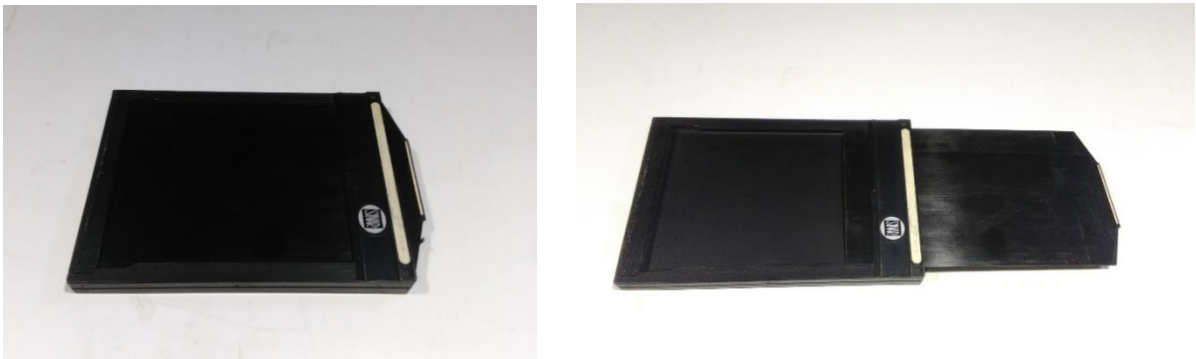
[6] Halo-efekt je pojava kada se svjetlost odbija od podlogu i u slučaju da nema anti-halo sloja, film bi se osvijetlio s donje strane, tj. drugi put.



Slika 14: Halo-efekt.

Intenzitet upadnih zraka ima značajnu ulogu u nastajanju halo-efekta. Kako ne bi došlo do halo-efekta, ugrađuje se anti-halo sloj jer sve zrake koje prođu kroz anti-halo sloj će biti apsorbirane i neće nastati dupla slika.

Prikazane kasete na Slici 15, koriste se za zaštitu filmove od neželjenih vanjskih utjecaja (svjetla, topline, vode). Uobičajeno se ovakve kasete koriste pri rendgenskom snimanju. Prednja strana građena je od materijala niskog atomskog broja (plastike, aluminija) koji propuštaju rendgenske zrake na film u kaseti. Stražnja strana kasete je građena od lakog metala na čijoj je unutrašnjoj površini sloj olova. Olovni sloj apsorbira rendgenske zrake koje prođu kroz film i tako štiti film od povratnog raspršenog zračenja koje bi smanjivalo oštrinu slike. U ovom slučaju, fotografski film je zaštićen od vanjskih utjecaja kako ne bi bio osvjetljen. Na vrhu kasete se nalazi mehanizam za otvaranje i zatvaranje kasete.



Slika 15: Kaseta za umetanje fotografskog filma.

2.6.2. Kako radioaktivni materijali utječu na fotografski film

Kao što je rečeno, fotografski film se sastoji od emulzije koja je osjetljiva na ionizirajuće zračenje. Emulzija je nanesena na prozirnu poliesternu bazu i bazirana je na kristalima srebrnih halogenida, načinjenog kao 90-99% srebrovog bromida i 1-10% srebrovog jodida, pomiješanog sa želatinom. Osjetljivost na zračenje je zbog nesavršenosti kristala koje tvore područja osjetljivosti, odnosno latentne centre ili centre uhvata elektrona. Veliku ulogu ima točkasti defekt, prazno mjesto na položaju atoma u kristalu određeno prostornom grupom. Zračenje djeluje na zrnca u emulziji i tako stvara latentnu sliku. Energija koju je dovelo zračenje izbija elektrone iz negativno nabijenih iona te oni time postaju neutralni atomi. Slobodni elektron napušta kristal, fiksira se za područje osjetljivosti i tako privlači pozitivno nabijene ione srebra koje na kraju neutralizira. Pri tom procesu se stvaraju male nakupine nepravilnog srebra koje tvore latentnu sliku. U kemijskom procesu, latentna slika se pojačava pa se pri razvijanju filma dodaje supstanca sa sumporom, koji će u reakciji sa srebrnim halogenidom tvoriti sulfid AgS. On se formira na površini kristala i tvori područje osjetljivosti. Za njega se fiksiraju zračenjem izbijeni elektroni, koji privlače ione srebra i tvore nakupine atoma koji uzrokuju neprozirnost i ostavljaju u latentnoj slici trajno zacrnjenje. Stupanj zacrnjenja ovisi o količini nataloženog srebra, a samim time i o apsorbiranoj dozi zračenja.

2.6.3. Razvijanje fotografskog filma

Tijekom ručnog razvijanja filma, fotokemijski postupak se odvija u nekoliko faza u tamnim komorama koje se razlikuju po veličini i konstrukciji. Tamna komora može biti bilo koja prostorija koja ne propušta svijetlo (bilo danje ili umjetno), jer kada bi svjetlost osvijetlila nerazvijeni fotografski film ili papir, slika bi bila nepovratno izgubljena. Također, temperatura komore bi trebala biti između 17 °C i 27 °C kako ne bi došlo do oštećenja slike ili kemikalija. Tamna komora se sastoji od dva dijela: suhe i mokre zone. U suhom dijelu se nalaze stolovi za ulaganje filmova u doze. U mokrom dijelu se nalaze spremnici različitih dimenzija u kojima se nalaze otopine razvijača, prekidna kupka, fiksir i spremnik za ispiranje filmova. Svaki spremnik je zatvoren kako ne bi došlo do oksidacije i nakupljanje prašina na površini kemikalija.

U tamnoj komori svjetlo mora biti ugašeno dok se film ulaže u spiralu, koja se smjesti u dozu. Dozu, koju vidimo na Slici 16, mora biti dobro zatvorena, kako ne bi ušla svjetlost i uništila film. Nakon postavljanja filma u dozu, svjetlo se može uključiti i razvijanje filma može početi.

Slika 16: Oprema za ručno razvijanje filma.

Nakon postavljanja filma u dozu, ulijeva se čista voda kako se na fotografskom filmu ne bi pojavili mjehurići nakon ulijevanja razvijača u dozu. Doza se nekoliko puta okrene i izlije se voda. Nakon vode, u dozu se ulijeva razvijač. Tijekom razvijanja se nastavlja izlučivanje elementarnog srebra iz svih kristala srebrnog bromida koji su bili izloženi djelovanju svjetla. Razvijač je otopina koja

je sastavljena od metola i hidrokinona koji su redukcijska sredstva, a sadrži i fenidon, kalijev hidroksid, kalijev karbonat i kalijev borat koji ubrzavaju proces razvijanja i povećavaju samu učinkovitost razvijanja filma. U razvijaču se nalazi i kalijev sulfat koji sprječava oksidaciju hidrokinona te služi kao zaštita otopine razvijača. Vrijeme razvijanja ne smije biti predugo jer dovodi do izlučivanja atoma elementarnog srebra s područja filma koji nisu bili izloženi zračenju i pojavljuje se zamućenje slike. Ako je vrijeme razvijanja prekratko, neće se izlučiti elementarno srebro iz kristala srebrnog bromida koji su bili izloženi zračenju. U slučaju ako držimo predugo ili prekratko, smanjuje se oštrina slike te je optimalno vrijeme razvijanja 10 minuta, a temperatura razvijača bi trebala biti oko 18 ºC.

Nakon razvijanja, eksponirani film se postavlja u „prekidnu kupku“. Prekidna kupka je čista voda u kojoj se nalazi 5% octene kiseline. Ona služi za prekid razvijanja i neutralizaciju lužnatih komponenti razvijača.

Poslije prekidne kupke dolazi fiksiranje same slike. Fiksiranjem slike uklanjaju se iz fotonanosa filma svi preostali kristali srebrnog bromida koji su ostali nakon procesa razvijanja. Otopina fiksira sastoji se od više kemijski tvari, ali najvažniji je natrijev tiosulfat ($Na_2S_2O_3$). Nakon fiksiranja, slika je trajna i neosjetljiva na svjetlost. Ovaj proces traje od 5 do 10 minuta u svježoj otopini.

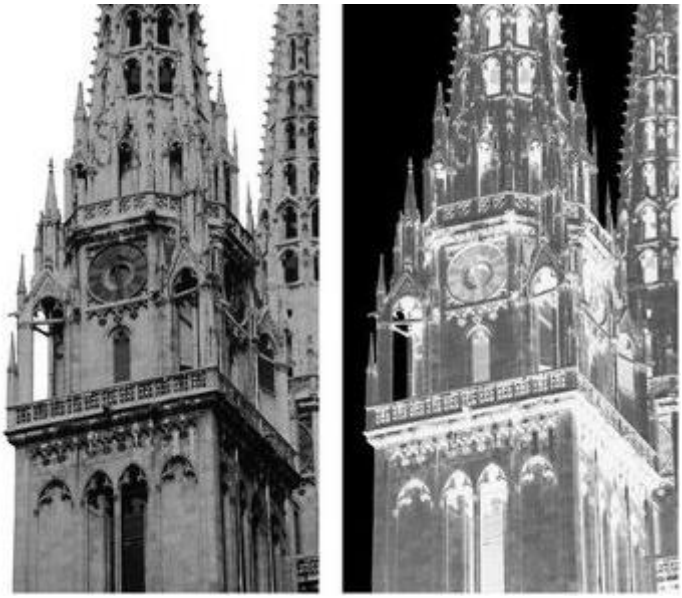
Nakon fiksiranja filma, na red dolazi ispiranje filma (oko 30 minuta) u čistoj i tekućoj vodi, čime se uklanjaju zadnji ostaci otopine fiksira, srebrnih soli i njihovih spojeva.

Zadnja faza je sušenje filma u prostoriji bez prašine i minimalno 45 minuta pri temperaturi između 17 °C i 27 °C.

2.6.4. Negativ i pozitiv

Fotografski film osjetljiv je na svjetlo. Kada je fotografski film osvjetljen, slika je nevidljiva golim okom sve dok se ne obradi kemijskim postupkom. Razvijanjem i fiksiranjem slika postaje vidljiva i stabilna na svjetlo.

Slika dobivena nakon razvijanja, naziva se negativ jer tamnije područje filma odgovara više osvijetljenim dijelovima fotografiranog predmeta i obratno kao što vidimo na Slici 17 - desno. Realna slika, pozitiv, koji se nalazi na Slici 17 - lijevo dobiva se kontaktnim kopiranjem ili optičkim povećanjem. Kontaktnim kopiranjem dobiva se slika iste veličine kao negativ, dok se optičkim povećanjem dobiva uvećana ili smanjena slika u odnosu na negativ. Iz jednog filmskog negativa moguće je napraviti veliki broj kopija pozitiva (predmet koji se u svakodnevnom govoru, naziva fotografija).



Slika 17: Pozitiv i negativ

(http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=20254)

(Dostupno: 9.6.2017.)

3. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu, kvantitativno je prikazano zračenje radioaktivnih minerala na fotografski film pri različitim vremenima ekspozicije.

Tijekom ovog eksperimenta, korištena su dva radioaktivna minerala (uraninit i zippeit) koji u sebi sadrže uranij, a koji su, za potrebe ovog diplomskog rada, posuđeni od Hrvatskog prirodoslovnog muzeja iz Zagreba.

Navedeni radioaktivni minerali su postavljeni na fotografski film koji se nalazi u kaseti. Tijekom različitih vremena ekspozicije, promatrani su tragovi koje ostavljaju minerali na fotografskom filmu. Pri završetku izlaganja minerala, film je razvijen u tamnoj komori Umjetničke akademije u Osijeku. Cijeli postupak izlaganja filma radioaktivnim mineralima trajao je četiri mjeseca, a filmovi su razvijeni tijekom jednog dana.

Potreban pribor za izvođenje pokusa: Fotografski film, kaseta za ulaganje filma, radioaktivni minerali (uraninit i zippeit), metalna značka (Malteški križ), novčić, razvijač, voda, fiksir, tamna komora, računalo, skener filmskih negativa, softver za obradu fotografija.

Karakteristike fotografskog filma: Agfa Aviphot Pan 80 je pankromatski fotografski materijal s emulzijom osjetljivom na sve boje vidljivog spektra. Zbog izrazito visoke kvalitete, na fotografskom filmu mogu biti razvijene oštre slike bez zamućenja. Može biti korišten u znanstvene svrhe, ali i za snimanje amaterskih slika.

3.1. Uranij

Uranij je srebrno - bijeli radioaktivni metal iz skupine aktinida[7] periodnom sustavu elemenata s atomskim brojem 92 (92 protona i 92 elektrona). Ime je dobio po planetu Uranu, a otkrio ga je njemački liječnik i kemičar Martin Heinrich Klaproth, 1789. godine. Nalazi se u zemljinoj kori, a u prirodi se u malim količinama pojavljuje u tlu, stijenama i vodi. U elementarnom stanju je bijele boje, razmjerno mekan i vrlo težak radioaktivni metal (relativna gustoća 18,69 g/cm^3). U zraku oksidira i potamni. Smrvljen u prah polako reagira s hladnom, a brže s vrućom vodom.

Primjenjuje se kao materijal za oklope, štitove i izradu antikatoda za dobivanje visokoenergetskog rendgenskog zračenja. Prije otkrića zračenja, uranij se koristio u malim količinama za izradu žutog stakla, keramičke glazure u kuhinji i sanitariji i poboljšanje izgleda zubne proteze. Izotop uranija ^{235}U primjenjuje se kao nuklearno gorivo, prvenstveno u nuklearnim elektranama i izradu nuklearnog oružja.

Uranij je slabo radioaktivan jer su svi njegovi izotopi nestabilni. Vrijeme poluraspada šest poznatih prirodnih izotopa (^{233}U do ^{238}U) variraju između 69 godina do 4,5 milijardi godna. Najčešći izotop prirodnog uranija je uranij ^{238}U. Prilikom raspada uranija ^{238}U dolazi do emitiranja alfa i gama čestica [29]. U prirodi ga se najčešće nalazi u obliku silikata ili oksida. Danas je poznato preko 200 minerala koji sadrže uranij, a najpoznatiji su: uraninit (pitchblenda), euksenit, kofinit, karnotit, davidit i torbernit. Rasprostranjen je po svim kontinentima, a najveća nalazišta su u Australiji, Kazahstanu i Kanadi.

[7] Aktinidi su skupina od petnaest elemenata koji leže između aktinija i lorensija s atomskim brojem od 89-103. (https://hr.wikipedia.org/wiki/Aktinoidi)

3.1.1. Uraninit

Uraninit je poznatiji pod nazivom uranijev smolinac (U_3O_8) i najvažnija je ruda uranija. Uraninit kojeg vidimo na Slici 18 je radioaktivni mineral crno-sive boje i podsjeća na čelik. Nastaje oksidacijom uranijeva dioksida u unutrašnjosti Zemljine kore

$$3 \cdot UO_2 + O_2 \rightarrow U_3O_8 \text{ (pri 700 ºC)}$$

Uraninit je poznat od 15. stoljeća kada je pronađen u rudnicima srebra na Rudnoj gori (Krušné Hory, Erzgebirge, Bohemijski masiv) na Njemačko-Češkoj granici. Danas se ta ruda kopa u rudnicima Shinkolobwe u Demokratskoj Republici Kongo, Kanadi (gdje je povezan sa srebrom), Australiji, Češkoj, Njemačkoj, …

Uraninit koji je postavljen na fotografski film pronađen je u Češkoj, a nalazi se u mineraloško petrografskoj zbirci Hrvatskog prirodoslovnog muzeja.

Zbog radioaktivnog raspada, uraninit sadrži okside olova i tragove helija. Male količine olova izotopa ^{206}Pb i ^{207}Pb su krajnji produkt radioaktivnih raspada u nizovima izotopa uranija ^{235}U i ^{238}U dok je helij prisutan u uraninitu kao rezultat alfa raspada. Također, može sadržavati torij i rijetke zemljine elemente i malu količinu radija, kao rezultat radioaktivnog raspada uranija. Stoga se uraninit mora skladištiti s velikim mjerama opreza, zbog izrazito velike radioaktivnosti. Pri rukovanju s mineralom, savjetuje se korištenje rukavica kako ne bi došlo do izravnog kontakta.

Slika 18: Uraninit

3.1.2. Zippeit

Zippeit, $K_4(UO_2)_6(SO_4)_3(OH)_{10} \cdot 4(H_2O)$ je radioaktivni mineral koji sadrži uranij. Zippeit kojeg vidimo na Slici 19, je smećkasto-zelene boje, a u prirodi se najčešće pronalazi kao mineral zlatno-žute, narančasto-žute i svijetlo žute boje. Pod ultraljubičastim zračenjem, zippeit fluorescira zeleno.

Otkrio ga je austrijski mineralog Franz Xaver Maximilian Zippe u St. Joachimsthal (Jáchymov) te je u njegovu čast dobio ime. Osim u St. Joachimsthal (Jáchymov, Češka Republika), nalazište minerala je u Wölsendorfa u Bavarskoj (Njemačka) i Utah (zapadni dio Sjedinjenih Američkih Država).

Mineral koji smo postavili na fotografski film pronađen je u Jáchymovu (Češka Republika) i također se nalazi u spomenutoj zbirci Hrvatskog prirodoslovnog muzeja.

Slika 19: Zippeit

3.2. Pokus 1: Rekonstrukcija Becquerelovog pokusa - fotografski negativ radioaktivnog minerala (radiogram)

Zadaci:

1. Rekonstruirajte Becquerelov pokus pomoću fotografskog filma i radioaktivnog minerala (zippeit).
2. Rezultate prikažite kao negativ.

Postupak izvođenja pokusa:

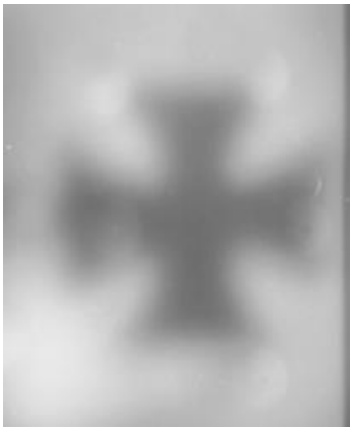
U tamnoj komori izrezati fotografski film i postaviti ga u kasetu. Izložiti zippeit na fotografski film koji se nalazi u kaseti u trajanju od 30 dana. Nakon određenog perioda skinuti radioaktivni mineral s fotografskog filma. Potom, kada su izvršene sve zadane ekspozicije, fotografske filmove razviti u tamnoj komori. Dobivene slike prikazati kao negativ.

Malteški križ je izabran kao štit od radioaktivnog zračenja iz povijesnih razloga jer su poznate originalne fotografije Becquerelovog pokusa sa sličnim križem.

Rezultati:

Dobiveni rezultati prikazali su sliku kao negativ. Svjetlija područja prikazali su veći intenzitet zračenja minerala, a tamnija područja su ona na koje nisu djelovala zračenja tj. koja su se apsorbirala u štitu.

Slika 20: Film ozračen trideset dana



Slika 21: Film ozračen trideset dana + Malteški križ.

Zaključak pokusa 1:

Vrijeme izlaganja zippeita na fotografskim filmovima je bilo jednako pa je iz dobivenih slika primijećeno kako je otisak zippeita jednak. Na Slici 21 vidljiva je sjena Malteškog križa iz razloga što su se gama zrake iz radioaktivnog minerala apsorbirale u metalu. Na ovaj način je rekonstruiran Becquerelov pokus.

3.3. Pokus 2: Fotografski pozitiv radioaktivnog minerala (radiogram) u ovisnosti od vremena ekspozicije

Zadaci:

1. Rekonstruirajte Becquerelov pokus pomoću fotografskog filma i radioaktivnog minerala (uraninit).
2. Rezultate prikažite kao pozitiv.

Postupak izvođenja pokusa:

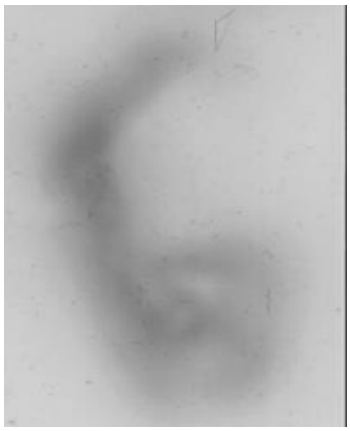
U tamnoj komori izrezati fotografski film i postaviti u kasetu. Postaviti uraninit na kasetu, u kojoj je fotografski film, u određenom vremenskom razdoblju (1, 2, 4, 9, 15, 20, 30 dana). Nakon određenog perioda skinuti radioaktivni mineral sa kasete. Potom, kada su izvršene sve zadane ekspozicije, fotografski filmovi su razviti u tamnoj komori. Dobivene slike prikazati kao pozitiv.

Rezultati:

Dobiveni rezultati prikazali su sliku kao pozitiv. Tamnija područja na filmu prikazuju veći intenzitet zračenja minerala, a najsvjetlija područja su područja na koje nije djelovalo zračenje.

U drugom dijelu, postavljen je uraninit na tri i dvadeset dana na fotografski film, a između njih je postavljena kovanica čiji se otisak jasno vidi.

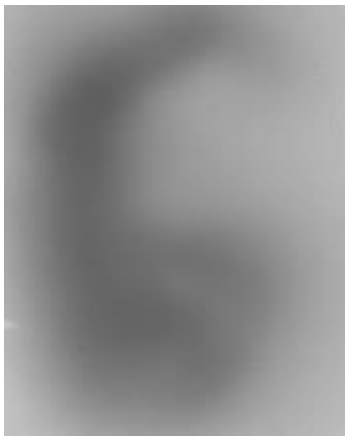
Slika 22: Film ozračen jedan dan



Slika 23: Film ozračen dva dana

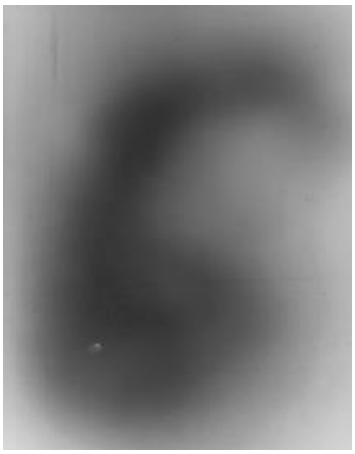
Slika 24: Film ozračen četiri dana

Slika 25: Film ozračen devet dana

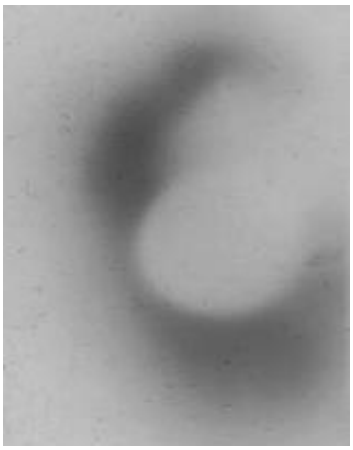


Slika 26: Film ozračen petnaest dana

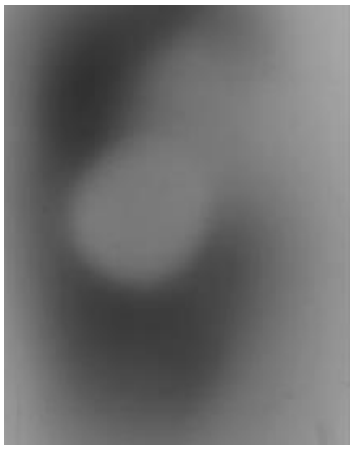
Slika 27: Film ozračen dvadeset dana



Slika 28: Film ozračen trideset dana



Slika 29: Film ozračen tri dana + novčić



Slika 30: Film ozračen dvadeset dana+ novčić

Zaključak pokusa 2:

Iz niza dobivenih slika 22-28, pozitiva, zaključeno je kako je za izvođenje pokusa dovoljan jedan dan kako bi dobili značajan otisak minerala na fotografskom filmu. Počevši od prvog dana pa sve do tridesetog dana, vidljivo je kako se otisak mijenja, od svjetlijih do tamnijih tonova na pozitivu i to što je dulje vrijeme izlaganja jači je otisak na fotografskom filmu (tamniji).

Iz dobivenih rezultata, slike 29-30, uočena je sjena novčića koji je bio postavljen između uraninita i fotografskog filma te je zaključeno kako su se radioaktivne zrake (gama zračenje) apsorbirale u metalu (kovanici).

3.4. Pokus 3: Fotografski negativ radioaktivnog izvora (radiogram)

Zadaci:

1. Rekonstruirajte Becquerelov pokus pomoću fotografskog filma i radionuklida koje imamo na Odjelu za fiziku: ^{22}Na aktivnosti 74 kBq (izvor beta+ i gama zraka) i ^{137}Cs aktivnosti 37 kBq (izvor alfa i gama zraka).
2. Rezultate prikažite kao pozitiv.

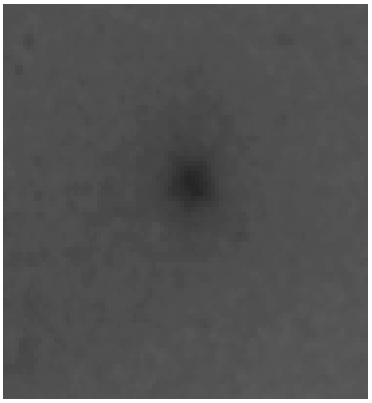
Potreban pribor: fotografski film, crni deblji papir, radioaktivni izvori (^{22}Na aktivnosti 74 kBq i ^{137}Cs aktivnosti 37 kBq), razvijač, voda, fiksir, tamna komora, računalo, skener filmskih negativa, softver za obradu fotografija.

Postupak izvođenja pokusa:

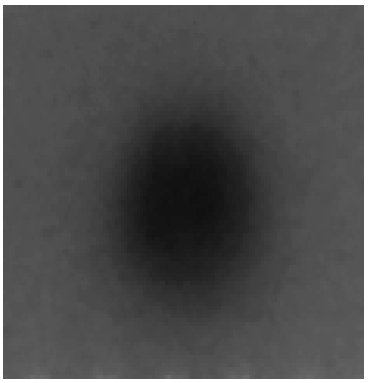
U tamnoj komori izrezati crno/bijeli fotografski film koji je dostupan u maloprodaji (emulzija: crno/bijeli negativ, brzina ISO: 100-199, format filma: 135 mm, broj ekspozicija na filmu: 24 komada, cijena: oko 40,00 HRK) te umetnut u crni papir koji ne propušta svjetlo. Izložiti radioaktivne izvore ^{22}Na aktivnosti 74 kBq i ^{137}Cs aktivnosti 37 kBq (radionuklide koji su dostupni na Odjelu za fiziku) na crnu košuljicu, u kojoj je fotografski film, u trajanju od sedam dana. Nakon određenog perioda skinuti radioaktivne izvore s fotografskog filma. Potom, kada su izvršene sve zadane ekspozicije, fotografski filmove razviti u tamnoj komori. Dobivene slike prikazati kao negativ.

Rezultati:

Dobiveni rezultati prikazali su sliku kao pozitiv. Tamnija područja prikazuju veći intenzitet zračenja radioaktivnog izvora, a svjetlija područja na koje ne djeluje zračenje. Kako je radioaktivni izvor cezija (^{137}Cs) manjeg promjera (zrnce cezija u plastici) od natrija (^{22}Na) tako je i slika negativa cezija na filmu manjeg promjera.



Slika 31: Film ozračen sedam dana ^{137}Cs



Slika 32: Film ozračen sedam dana ^{22}Na

Zaključak pokusa 3:

Iz dobivenih rezultata vidimo kako su radioaktivni izotopi cezija i natrija ostavili trag na standardno dostupnom fotografskom filmu u papirnatoj košuljici. Ne možemo zaključiti koje je minimalno vrijeme izlaganja kako bi radioaktivni izvori ostavili trag, no vidimo kako su pri ekspoziciji od sedam dana ostavili jasan trag na fotografskom filmu. Ovaj pokus smo izvodili s radioaktivnim izvorima koje imamo na Odjelu za fiziku u Osijeku, no zbog svojih manjih dimenzija nisu pogodni za rekonstruiranje Becquerelovog pokusa s metalnim štitom.

4. Zaključak

U svijetu u kojem živimo radioaktivnost je svuda oko nas. Prirodna radioaktivnost koju smo dotakli u radu nalazi se u tlu, stijenama, pijesku, morima, rijekama … . Izravne posljedice zračenja na živi svijet nisu odmah vidljive. Ipak, osim negativnih posljedica, radioaktivnost ima široku primjenu u medicini, znanosti, industriji te poljoprivredi. Uređaji za dijagnostičku analizu i liječenje malignih bolesti, bio-medicinski istraživački laboratoriji, svi koriste radioaktivne izvore u svrheu spašavanja ljudskih života. U industriji se radioaktivnost koristi za sterilizaciju hrane, eksploataciju rude te za ostale tehničke procese.

Pokusima je prikazano kako radioaktivni minerali (uraninit i zippeit) ostavljaju tragove na fotografskom filmu čime možemo zaključiti kako djeluju i na čovjeka kada se čovjek nalazi u doticaju s mineralima. Također, radioaktivni izotopi cezija i natrija koji se nalaze na Odjelu za fiziku ostavili su jasan trag na fotografskom filmu nakon izlaganja od sedam dana. S radioaktivnim izotopima potrebno je rukovati pomoću rukavica kako bi izbjegli izravni doticaj.

Ovim pokusom, ideja je bila prikazati utjecaj radioaktivnih minerala (i izvora), a koji se nalaze u prirodi koja nas okružuje, na fotografski film jer je sličan pokus iznjedrio novu granu znanosti koja je doprinijela razvitku novih tehnika i tehnologija koje poboljšavaju ljudski život.

5. Literatura

1. Jakobović, Z. Ionizirajuće zračenje i čovjek. Zagreb : Školska knjiga, 1991.

2. Radioaktivnost: http://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost/ (Dostupno: 8.6.2017.)

3. Henry Becquerel – Biographical

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-bio.html

(Dostupno: 8.6.2017.)

4. Antoine Henry Becquerel

https://hr.wikipedia.org/wiki/Antoine_Henri_Becquerel (Dostupno: 8.6.2017.)

5. Eary History of X rays

http://www.slac.stanford.edu/pubs/beamline/25/2/25-2-assmus.pdf (Dostupno: 8.6.2017.)

6. The discovery of X-rays

https://www.nde-ed.org/EducationResources/HighSchool/Radiography/discoveryxrays.htm (Dostupno: 8.6.2017.)

7. Rendgensko zračenje

https://bs.wikipedia.org/wiki/Rendgensko_zra%C4%8Denje (Dostupno: 8.6.2017.)

8. Prof. dr. sc. Grdenić, D. Sto godina radioaktivnosti. *Priroda*, 1993. (str.5-6)

9. Abel Niépce de Saint-Victor

https://en.wikipedia.org/wiki/Abel_Ni%C3%A9pce_de_Saint-Victor (Dostupno: 8.6.2017.)

10. Reich-chemistry

https://reich-chemistry.wikispaces.com/fall.2008.mma.vitali.timeline (Dostupno: 8.6.2017.)

11. Atomic Heritage Foundation, Marie Curie

http://www.atomicheritage.org/profile/marie-curie (Dostupno: 8.6.2017.)

12. Otkriće radija 1898

http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/30/017/30017619.pdf

(Dostupno: 8.6.2017.)

13. Radioaktivnost. Primjena u medicini

http://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost_Primjena%20u%20medicini_povjerenstvo_Z.pdf (Dostupno: 8.6.2017.)

14. Rizici pojave karcinoma uslijed izloženosti ionizirajućem zračenju

http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/alfa.htm (Dostupno: 8.6.2017.)

15. Radioaktivnost

http://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost/ (Dostupno: 8.6.2017.)

16. W particle

https://kjende.web.cern.ch/kjende/en/wpath_lhcphysics2.htm (Dostupno: 8.6.2017.)

17. Gamma ray

https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_ray (Dostupno: 8.6.2017.)

18. Izvori zračenja

https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/predizvorzr.pdf (Dostupno: 8.6.2017.)

19. Fotografija

https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotografija (Dostupno: 8.6.2017.)

20. Camera obscura

http://camera-obscura.co.uk/camera_obscura/camera_make.asp (Dostupno: 8.6.2017.)

21. Šišak, M. Camera Obscura, Matka 21 (2012./2013.) br. 84

22. Povijest fotografiije

http://www.phos-graphis.bloger.index.hr/post/povijest-fotografije/17932417.aspx

(Dostupno: 8.6.2017.)

23. Fotografski film

http://fotografija.grf.unizg.hr/media/download_gallery/4%20Film%20i%20snimanje%20klasi%C4%8Dnim%20fotografskim%20aparatom.pdf (Dostupno: 9.6.2017.)

24. Fotografski materijali

http://docslide.net/documents/5fotografski-materijali.html (Dostupno: 9.6.2017.)

25. Radiološka dijagnostika

http://ozs.unist.hr/~fmihanov/nastava/UuR/S6_Radiografija_FM1.pdf (Dostupno: 9.6.2017.)

26. Surić Mihić, M. Vremenski razlučiva osobna dozimetrija rendgenskog zračenja vrlo niskih doza. Zagreb, 2012.

27. Milan Fizi, Fotografija, Epoha Zagreb, 1966.

28. Fotografija

http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=20254 (Dostupno: 9.6.2017.)

29. Uranium

https://en.wikipedia.org/wiki/Uranium (Dostupno: 9.6.2017.)

30. Uraninite

https://en.wikipedia.org/wiki/Uraninite (Dostupno: 9.6.2017.)

31. Zippeite

https://en.wikipedia.org/wiki/Zippeite (Dostupno: 9.6.2017.)

6. Životopis

Dunja Straka rođena je 30.09.1992. godine u Osijeku. Pohađala je Osnovnu školu Matije Petra Katančića u Valpovu i Opću gimnaziju u Srednjoj školi Valpovo. Nakon završene gimnazije 2011. godine, kao redovna studentica upisuje Preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Preddiplomski studij završava 2014. godine i iste godine upisuje Sveučilišni diplomski studij fizike i informatike. Član je Sportskog rekreacijskog kluba Baraber te u sklopu kluba trči, planinari, abseila,… Osim bavljenja sportom, humanitarno volontira u Lokalnom volonterskom centru u udruzi Zvono.