

РЕГИОНАЛНИ ЦЕНТАР ЗА ТАЛЕНТЕ У ВРАЊУ

РЕНДГЕНСКО ЗРАЧЕЊЕ

X-RAYS

Аутор: МАРИЈА БЛАГОЈЕВИЋ, 3. разред Гимназије Стеван Јаковљевић
члан Фондације „Христифор Црниловић“ у Власотинцу

Ментор: МАЈА ВЕЉКОВИЋ, Професор физике

У Власотинцу, 2014.

РЕНДГЕНСКО ЗРАЧЕЊЕ

X-RAYS

Аутор: МАРИЈА БЛАГОЈЕВИЋ, 3. разред Гимназије Стеван Јаковљевић

члан Фондације „Христифор Црниловић“ у Власотинцу

Ментор: МАЈА ВЕЉКОВИЋ, Професор физике

РЕЗИМЕ

Рендгенски зраци (икс-зраци) од самог њиховог проналаска су били неистражени и занимљиви. Њих је пронашао Вилхем Конрад Рендген. Људи верују да је он пронашао икс-зраке који су по њему добили назив. Он је 1895. године, као и бројни физичари тог доба, проучавао ефекте високог напона на електрично пражњење у разређеним гасовима у цевима. Током једног експеримента са катодним зрацима видео је нешто необично, око метар од стола нешто је засветлело, заинтересовао се и поцео је да ради експерименте. Данас се живот без рендгенских зрака не може замислити. Ако само помислимо на то да се већина болести не може открити без икс зрака, многи људи данас не би ходали планетом. На аеродромима, у затворима и обезбеђеним местима се користе за откривање метала и осталих стварчица.

Кључне речи: рендгенски зраци, спектри, гама зрачење, таласна дужина, мозлијев закон.

SUMMARY

X-rays (X-rays) since their invention have been investigated and found they were very interesting . They discovered Wilhelm Konrad Rendgen. People believe that he found the X-ray , which according to him is get name. He is in 1895. , As well as a number of physicists that time , studied the effects of high voltage on the electric discharge in rarefied gases in tubing. During an experiment with cathode ray he was seen something unusual about a meter away from the table a little lit up , became interested and started working eksperiment. Today life without the X-ray imagine. If can only think that most diseases can not be detected without iks air, many people today would not have walked on the planet. In airports, prisons and secure places are used to detect metal and other things.

Key words: X-ray spectra, gamma radiation, wavelength, mozlijev law.

ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИ ТАЛАСИ

- Увод

Електромагнетни таласи су низови вртложних електричних и магнетних поља која се шире кроз простор потпуно се одвојивши од свога извора (на пример од наелектрисане честице која осцилује), тако што настају једно од другога.

- Природа и особине електромагнетних таласа

Сви електромагнетни таласи имају исту природу (електромагнетну), исту брзину, преношење енергије, настанак из процеса у молекулима, атомима, атомским језгрима или убрзаног кретања наелектрисаних честица. Специфичне особине електромагнетних таласа зависе од њихове фреквенције (таласне дужине).

- Спектар и скала електромагнетних таласа

Вредности таласних дужина свих до сада откривених електромагнетних таласа крећу се од 10^{-1} м до 10 м, а одговарајуће фреквенције (101 - 1) Hz. Ти таласи чине спектар електромагнетних таласа. Поједине области спектра имају посебне називе (радио таласи, светлост, рендгенско зрачење итд.), због специфичног начина настајања. Ако се сви електромагнетни таласи поређају дуж бројне осе по вредностима фреквенција или таласних дужина, добија се скала електромагнетних таласа. У њој, свакој врсти таласа припада одређена област. Границе између њих нису оштре, оне залазе у друге области.

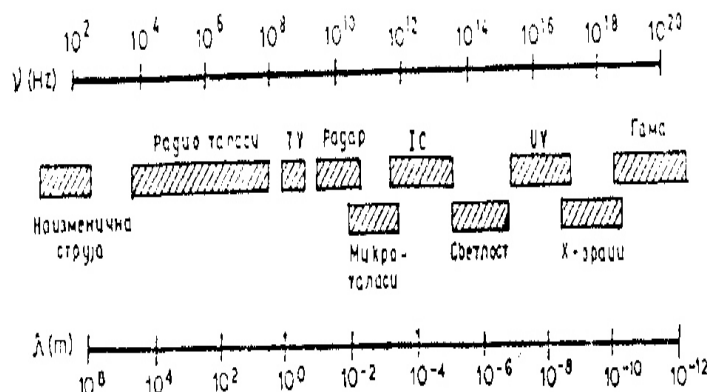
h – Планкова константа и износи $h=6.62 \cdot 10^{-34}$ Js

c – брзина светлости $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

e - наелектрисање електрона $e=1.67 \cdot 10^{-19}$ C

U – напон електричног поља између електрода

λ - Таласна дужина



Слика 1 скала електромагнетних таласа

Picture 1, scale electromagnetic wave



ГАМА ЗРАЦИ су електромагнетни таласи које емитују радиоактивне супстанције. Они су у истој области фреквенција и имају исте особине као рендгенски зраци, али настају на други начин и у погледу енергије су на првом месту области.



РЕНДГЕНСКИ (X-) ЗРАЦИ су електромагнетни таласи који јонизују гасове кроз које пролазе, изазивају фосфоресценцију и доводе до хемијских промена на фотографским плочама. Производе се у рендгенским цевима.



УЛТРАЉУБИЧАСТО (УВ) ЗРАЧЕЊЕ су електромагнетни таласи који се стварају када електрична струја пролази кроз јонизовани гас између две електроде. Такође их емитује и Сунце али само мала количина доспева до Земљине површине.



ВИДЉИВА СВЕТЛОСТ су електромагнетни таласи које око може да детектује. Њих ствара Сунце или било која супстанција која се греје до усијања. Различите таласне дужине унутар таласног опсега се виде као различите боје.



ИНФРАЦРВЕНО ЗРАЧЕЊЕ су електромагнетни таласи које најчешће производе загрејана тела и зато су најчешћи узрок пораста температуре.



МИКРОТАЛАСИ су врло кратки радио таласи коришћени код радара за одређивање положаја предмета према времену које је потребно одбијеном таласу да се врати до извора. Микроталасне пећнице користе микроталасе за брзо кување хране.



РАДИО ТАЛАСИ су електромагнетни таласи који настају када слободни електрони у радио антенама осцилују под дејством електричног поља.

Naziv oblasti	Oznaka	Područje oblasti	Opseg talasnih dužina[nm]
Gama-zraci	γ		$\sim 10^{-4} - 10^{-2}$
Rendgenski ili X-zraci	X		$10^{-2} - 10$
Ultraljubičasti	UV	Daleka ili vakumska Bliska ili vazдушna	10 – 200 200 – 380
Vidljivi	VIS		380 – 780
Infracrveni	IC	Bliska Srednja Daleka	$780 - 2,5 \times 10^3$ $2,5 \times 10^3 - 33 \times 10^3$ $33 \times 10^3 - 3 \times 10^5$
Mikrotalasni	MT		$3 \times 10^5 - 10^9$
Radiofrekventni	RF		$10^9 - 10^{13}$

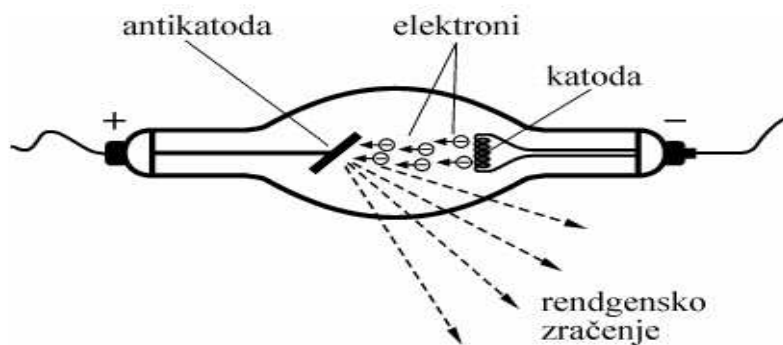
1nm=10⁻⁹ m

Tabela.1.tabela zraka

Table.1.table air

ОТКРИЋЕ X- ЗРАКА

Крајем 19. века физичари широм света проучавали су феномене везане за електрична пражњења у вакуумским цевима . Рентген је 1895. године у својој лабораторији изводио експерименте са катодним зрацима у Круксовој цеви. То је стаклена комора из које је извучен ваздух и у којој су , на растојању од неколико центиметара, постављене две металне електроде, катода и антикатада (анода),прикључене на извор напона.



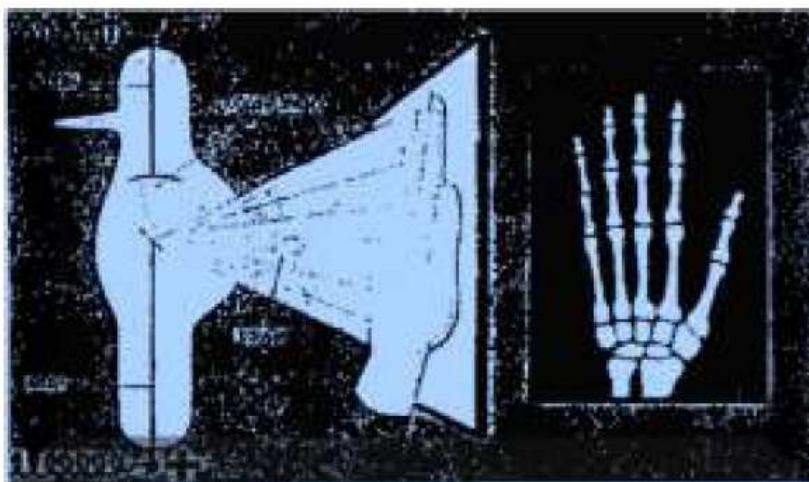
Слика 2, Круксова цев

Picture 2, Crookes tube

Почевши да примењује на овим цевима велике напоне реда неколико десетина хиљада волти ,Рентген је приметио на другом крају собе флуоресцентни сјај на плочи

од баријум-платиноцијанида, иначе флуоресцентног материјала. Одмах је било јасно да је ова појава последица зрачења које потиче из саме цеви. Флуоресценција се настављала и пошто је цев окружио црним картоном како би онемогућио пролаз ултраљубичастих зрака ,до тада најпродорнијег познатог зрачење. Такође, пошто је цев била покривена, ни катодни зраци (електрони) нису могли да стигну до флуоресцентног материјала.

Тада је Рентген ставио руку између цеви и екрана: на екрану су се оцртале његове кости,тамне на светлој позадини.Зраци су прошли кроз кожу,делимично кроз мишиће,али не и кроз чврсто и густо ткиво костију.Затим је успео да сними шаку своје супруге и направио први „Рендген апарат,,



Слика 3, Рендген апарат
Picture 3, X-ray machine

Било је јасно да је у питању много продорније зрачење, до тада непознато, па је добило радни назив Х-зраци,који се задржао до данас .На основу комплексних истраживања закључено је да Рендгенови зраци исказују следећа својства:

- Не скрећу под утицајем електричног и магнетног поља;
- Имају велику продорну моћ и пролазе кроз чврста тела
- Имају брзину једнаку брзини светлости;
- Простиру се праволинијски;
- Делују на фотографску плочу;
- Претварају кисеоник у озон;

- Изазивају флуоросценцију на телима;
- Јонизују гасове;
- Имају јако физиолошко дејство нарочито на кожу и коштану срж;
- Ваздух и остали гасови постају проводници под њиховим утицајем.

Шест година након открића зрака, 1901.године, Рентген је за то откриће добио Нобелову награду и тиме постао први добитник ове награде за физику. Приликом свечаности одржане у његову част у својству добитника Нобелове награде Рентген је рекао:

“ Према унутрашњем задовољству због успешно решеног проблема, свако спољашње признање је без значаја ”.

Зраци које је пронашао по њему се зову РЕНТГЕНСКИ ЗРАЦИ.

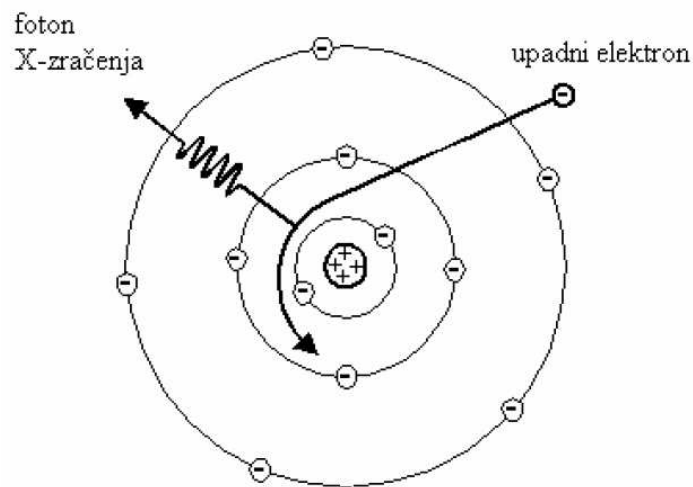
НАСТАЈАЊЕ X-ЗРАЧЕЊА И КАРАКТЕРИСТИЧНИ СПЕКТРИ

У експериментима који су уследили утврђено је да је рендгенско зрачење део електромагнетног спектра са таласним дужинама око 0.1 nm и да се састоји од два дела, која су у вези са његовим начином настанка:

- 1- *КОНТИНУАЛНИ СПЕКТАР*, који не зависи од материјала од ког је направљена анода;
- 2- *ДИСКРЕТНИ (КАРАКТЕРИСТИЧНИ) СПЕКТАР*, који се јавља изнад неке вредности убрзавајућег напона и зависи од врсте материјала аноде, односно од редних бројева њених атома.

ЗАКОЧНО ЗРАЧЕЊЕ КОНТИНУАЛНИ СПЕКТАР

Електрони емитовани са катоде убрзавају се великом потенцијалном разликом и стичу енергију реда неколико десетина хиљада eV . Брзи електрони стижу до аноде и улазе у електрично поље језгара атома од којих је она сачињена, где се нагло успоравају.



Слика 4. електрони емитовани са катоде
Picture 4, electrons emitted from the cathode

То успорено кретање електрона доводи до емисије фотона електромагнетног зрачења. Енергија емитованих фотона зависи од степена интеракције између језгара и електрона, тј. од раздаљине коју прелазе електрони. У овом процесу могу да се створе фотони практично свих енергија између нуле и максималне, која је одређена укупном кинетичком енергијом електрона, па према томе укупно резултујуће зрачење електрона је континуално и садржи електроне свих тих енергија. Таласна дужина $\lambda_{\min}$ може да се нађе изједначавањем енергије фотона ($E = hc/\lambda_{\min}$) са укупном кинетичком енергијом електрона ($E_k = eU$):

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} = 1.2398 \cdot 10^{-6} / U \quad [\text{m}].$$

где је:

h – Планкова константа и износи $h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

c – брзина светлости $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

e – наелектрисање електрона $e = 1.67 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

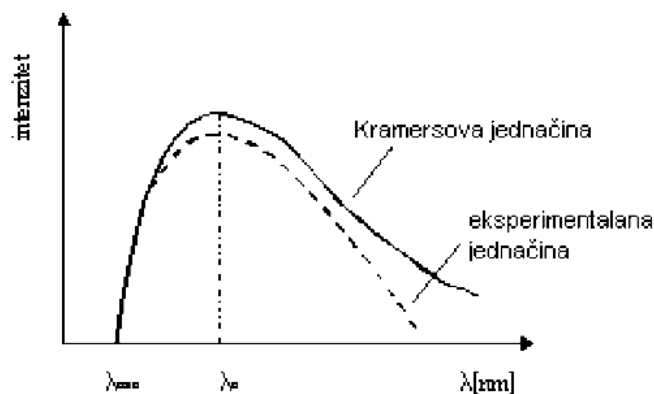
U – напон електричног поља између електрода

Аналитички облик расподеле интензитета X-зрачења по таласним дужинама дао је Крамерс:

$$I_{\lambda} d\lambda = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{5\hbar e^2 Z}{mc} \left(\frac{1}{\lambda_{\min}} - \frac{1}{\lambda} \right) \frac{d\lambda}{\lambda^2}.$$

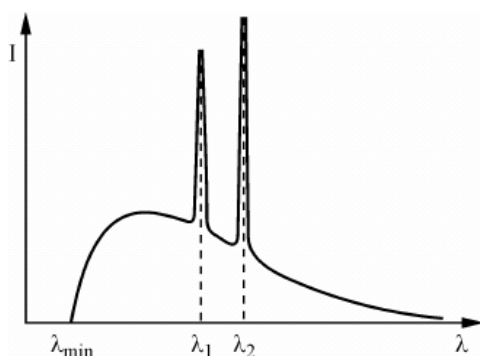
Таласна дужина која одговара максимуму интензитета зрачења (λ_0) може да се нађе диференцирањем ове једначине и изједначавањем првог извода са нулом :

$$\lambda_0 = \frac{3}{2} \lambda_{\min}.$$

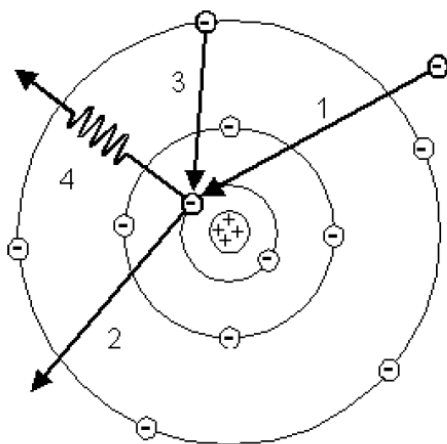


Slika 5. teorijski racunata i merena raspodela kontinualnog dela spektra
Picture 5, theoretically calculated and measured raspodela kontinualnog part of the spectrum

Карактеристично рендгенско зрачење неког елемента настаје ако се на погодан начин (бомбардовањем атома брзим електронима или монохроматским електромагнетским таласима) са попуњених атомских орбитала избаци електрон, услед чега долази до спонтаног прелаза електрона са виших орбитала уз емисију рендгенских зрака одређених таласних дужина. Енергија која је потребна електрону да напусти атом је енергија јонизације и да би се нпр. у рендгенској цеви добило карактеристично зрачење елемента од ког је направљена антикатада потребно је да напон буде толики да је (eU) око 3 пута веће од енергије јонизације. (слика) Тада је спектар заправо резултат суперпонирања континуалног и карактеристичног рендгенског спектра



Слика 6. континуални и карактеристични рендгенски спектар
 Picture 6, continuous and characteristic x-ray spectrum



Слика 7. настанак карактеристичног карактеристичног X-зрачења
 Picture 7 the occurrence of typical characteristic X-rays

Nastanak karakterističnog X-zračenja

Природу карактеристичног X-зрачења и основу законитости дао је Хенри Мозли . У својим првим експериментима 1913., Мозли је проучавао карактеристичне K-линије X-зрачења елемената који су се налазили испред цинка у периодном систему . K-линије су линије које настају приликом преласка електрона са виших нивоа на K ниво. Следеће године Мозли је проширио свој рад све до злата, користећи још и L-линије. Истовремено је Нилс Бор развијао и публикувао свој квантни модел атома. Први резултат до кога је дошао Мозли проучавајући $K\alpha$ линије (прелаз електрона са L-нивоа на K-ниво) била је линеарна зависност корена реципрочне вредности таласне

дужине X-зрачења једног природног броја Z који је карактеристика елемената чије зрачење проучава, а различит је од елемента до елемента:

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} = d(Z - 1) .$$

Узевши у обзир и друге линије, Мозли је извео општији закључак уклопивши га у Борову теорију. Мозлијев закон гласи:

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z - \delta)^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) ,$$

Где је δ константа екранирања. Том константом се показује утицај осталих електрона у атому на електрон који прелази у ниже енергетско стање, због њихове интеракције са језгром и самим електроном који врши квантни прелаз. Овде је R Ридбергова константа ($R = 1.1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$), а m и n редни бројеви орбита на коју и са које прелази електрон ($n = m + 1$). За $K\alpha$ линије важи $\delta \approx 1$, $m = 1$ и $n = 2$, па се за константу d добија:

$$d = \sqrt{\frac{3}{4}} R ,$$

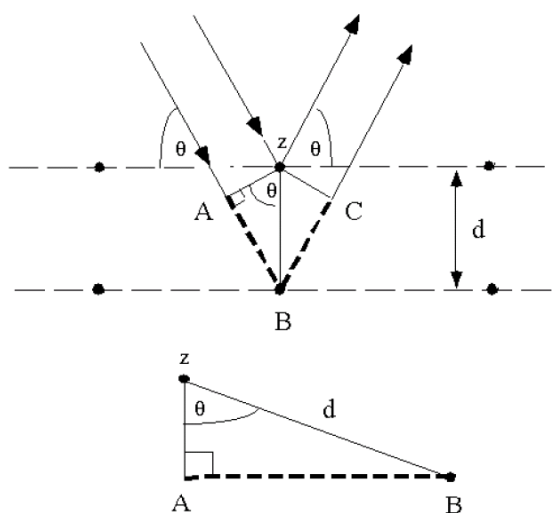
Број Z Мозли је назвао атомским бројем.

Карактеристични Рендгенски спектри се разликују од оптичких спектра јер не зависе од хемијских веза у којима атоми евентуално учествују. Откриће ове законитости било је изузетно значајно за боље упознавање како грађе унутрашњих љуски електронског омотача атома, тако и самог језгра.

Ове експерименталне чињенице објашњавају се на следећи начин: као што знамо при судару са атомом антикатоде електрон избија из неке од његових унутрашњих љуски један електрон. При преласку електрона са неког вишег енергијског нивоа на ово упражњено место емитију се X-зраци. Електрони нижих енергетских нивоа не учествују у хемијским везама, одатле независност карактеристичног зрачења атома од његовог окружења.

Практична примена X-зрака

Таласна природа X-зрачења потврђена је њиховом дифракцијом на кристалима Лауевим експериментом (1912 године), кога је усаврсио БРЕГГ. Захваљујући таквој природи разрађен је метод рендгенске структурне анализе којом се изучавају особине кристала. Кристали су чврста тела чији су атоми, јони правилно распоређени по теменима правилних геометријских тела на међусобним растојањима од око 10^{-10} m. Кад се на кристал усмери снап X-зрака под малим углом у односу на паралелне кристалне равни које пролазе кроз чворове кристалне решетке,



$$\Delta_x = AB + BC = 2d \cdot \sin \varphi$$

Слика 8. продор X-зрака
Picture 8, X-ray penetration

оне се понашају као полупропусна огледала која делимично одбијају а делимично пропуштају X-зраке. Одбијени зраци излазе из кристала под истим углом у односу на атомске равни. Пошто су зраци једнаки (кохерентни) на фотографској плочи (филму) остварују дифракционе максимуме на местима где је испуњен услов да путна разлика два суседна зрака садржи цео број њихових таласних дужина

$$d \cdot \sin \varphi = m \cdot \lambda$$

где је:

d - растојање између суседних кристалних равни

m = 1, 2, 3...

Кад се знају таласна дужина X-зрака и угао може се на основу Брегове формуле одредити d , које карактерише структуру кристала.

У рендгенској спектроскопији користи се дифракција рендгенских зрака на кристалима ради одређивања њиховог спектралног састава.

Изузетан значај X-зрачење има у медицини: за радиоскопско испитивање, директно испитивање људског тела помоћу једног флуоресцентног екрана којег осветљавају X-зраци, или радиографско испитивање при коме зраци дејствују као светлост на једну осетљиву плочу (филм).

Различита ткива различито апсорбују X-зрачење. Различите тамне тачке које представљају сенке разних органа на радиоскопском екрану и радиографији омогућају лекару да открије и обележи органске поремећаје, кварове на зубима, фрактуре костију или да одреди место страним телима. Уношењем смеше бизмута или баријума, непровидне за X-зраке, омогућава се испитивање органа за варење; исто тако, апсорбовањем брома или јода олакшава се дијагноза болести мокрачних органа и бешике.

Пошто дуготрајно дејство X-зрака разара ћелије, они се употребљавају за лечење канцерозних тумора (X-радиотерапија).

X-зрачење врши јонизацију средине кроз коју пролази, нарочито ако има малу таласну дужину, велику фреквенцију, енергију, са тим и продорност. Механизам деловања X-зрака још увек није довољно познат, али јонизација молекула, атома и ћелија доводи до њихових хемијских, биолошких активности и функција. То нарушава нормалан рад организма у целини.

На јонизујуће дејство X-зрака најосетљивије су активне ћелије и брзо се множе. (нпр. ћелије коштане сржи, што нарушава процес образовања крви, органа за варење) у знатно већој мери млађе популације. Из тих разлога у циљу заштите од X-зрачења морају се предузети одређене мере како би се избегле евентуалне непожељне последице. Особље које је изложено X-зрачењу у обавези је да носи заштитну одећу, да носи лични дозиметар и да редовно контролише здравствено стање.

У знак захвалности Рендгену за откриће Х-зрака и њихову широку примену на његовом гробу је написано:

**" ПО ЊЕМУ НАЗВАНИ ЗРАЦИ ПОКАЗУЈУ ЛЕКАРУ УНУТРАШЊОСТ ТЕЛА,
ИНЖЕЊЕРУ УНУТРАШЊОСТ ЊЕГОВИХ ТВОРЕВИНА, ИСТРАЖИВАЧУ
ДОНОСЕ ВЕСТ О УНУТРАШЊОЈ ИЗГРАДЊИ АТОМА "**

ЗАКЉУЧАК

Можемо закључити да је Тесла први применио Х-зраке у медицинске сврхе и тиме, практично, поставио темеље радиологије и рендгенографије и показао на постојање штетног дејства Х-зрака на организам човека. Гама зраци су продорна зрачења која су по својим особинама веома слична рендгенским зрацима, само што су често још продорнија од ових. Као и рендгенске зраке ове јонизују ваздух, делују на фотографску плочу, при пролазу кроз кристале настаје дифракција итд.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Божин, М. Распоповић, Е. Даниловић - Физика за 3. разред гимназије
Завод за издавање уџбеника, Нови Сад, 1992.
2. М. Распоповић, Д. Капор, М. Скрињар
Завод за издавање уџбеника, Београд, 1995.
3. Б. Ђурић - Велики физичари
Техничка књига, Београд, 1964.
4. Б. Ђурић, З. Цулум - Теорија релативности, Атомска и нуклеарна физика Научна књига, Београд, 1972.
5. И.Сујек - Нова физика ,Загреб, 1966.
7. С. Е. Фрис , А. В. Тиморјева – Курс опште физике
Београд, 1969.