

BRANDUOLINĖS ENERGETIKOS FIZIKINIAI PAGRINDAI

Viktorija Tamulienė

Vilniaus universitetas
Fizikos fakultetas

2015–2018 rudenio
XI paskaita

1 Radiacijos matavimai ir taikymas

- Radioaktyvumas
- Radiacijos aptikimas ir matavimas
- Radiacijos jutikliai
- Radioaktyvumo taikymas
- Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai
- Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija
- Radiacija ir gyvybė

1 Radiacijos matavimai ir taikymas

- Radioaktyvumas
- Radiacijos aptikimas ir matavimas
- Radiacijos jutikliai
- Radioaktyvumo taikymas
- Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai
- Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija
- Radiacija ir gyvybė

1 Radiacijos matavimai ir taikymas

- Radioaktyvumas
- Radiacijos aptikimas ir matavimas
- Radiacijos jutikliai
- Radioaktyvumo taikymas
- Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai
- Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija
- Radiacija ir gyvybė

Radioaktyvumas

Radioaktyvumas – tai kai kurių nestabilių branduolių savybė spontaniškai (savaime) skilti į kitų elementų branduolius ir sukelti radiaciją (spinduliuotę). Šis vyksmas dar žinomas kaip radioaktyvusis skilimas.

Radioaktyviųjų elementų spinduliuotė būna trijų rūšių: alfa dalelių srautas (alfa spinduliai), beta dalelių srautas (beta spinduliai) ir gama spinduliai.

Radioizotopas, arba **radioaktyvusis izotopas**. Radioaktyvioji medžiaga. Yra keletas gamtinių radioizotopų. Dauguma jų vis dar egzistuoja, nes labai ilgas jų pusamžis (pvz. – uranas-238), o vieną – anglį-14 – nuolat kuria kosminiai spinduliai. Kiti radioizotopai atsiranda branduolio dalijimosi metu, o nauji vis dar kuriami mokslo centruose, kur branduoliai apšaudomi labai greitomis dalelėmis (nuo protono iki urano).

Radioaktyvumas

Alfa dalelės (α dalelės). Teigiamosios elektringosios dalelės, skleidžiamos kai kurių radioaktyviųjų branduolių (alfa skilimas). Jos palyginti sunkios (du protonai du neutronai), juda lėtai ir negiliai įsiskverbia į medžiagą.

Beta dalelės (β dalelės). Kai kurių radioaktyviųjų branduolių spinduliuojamos dalelės, kurių greitis artimas šviesos greičiui. β dalelės būna dviejų rūšių: elektronai ir pozitronai; pastarųjų masė tokia pat kaip elektronų, bet krūvis teigiamas.

Gama spinduliai (γ spinduliai). Nematomos elektromagnetinės bangos. Jie giliausiai įsiskverbia į medžiagą ir paprastai, nors ne visuomet, išspinduliuojami radioaktyviųjų branduolių po alfa ir beta dalelių.

1 Radiacijos matavimai ir taikymas

- Radioaktyvumas
- **Radiacijos aptikimas ir matavimas**
- Radiacijos jutikliai
- Radioaktyvumo taikymas
- Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai
- Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija
- Radiacija ir gyvybė

Radiacijos aptikimas ir matavimas

Yra daug prietaisų, kurie aptinka ir matuoja radioaktyviųjų medžiagų (radioizotopų) sklaidžiamą radiaciją (radioaktyviąją spinduliuotę). Kai kurie iš jų naudojami tik laboratorijose (dirbtiniams radioizotopams tirti), kiti plačiai taikomi praktikoje (pvz., saugumo užtikrinimo matavimo prietaisai), taip pat gali būti naudojami foninei spinduliuotei matuoti. Dauguma prietaisų aptinka ir matuoja radiaciją pagal jos sukeltą jonizaciją.

Foninė spinduliuotė. Palyginti neintensyvi spinduliuotė, sklaidžiama gamtinių ir dirbtinių šaltinių Žemėje. Vienas iš gamtinių šaltinių yra anglis-14, kurią sugeria augalai ir gyvūnai. Ji nuolat susidaro iš stabilaus azoto-14, apšaudomo kosminių spindulių, prasiskverbiančių pro atmosferą iš kosmoso. Tai milžiniškos energijos dalelių srautai. Matuojamas fono lygis yra foninės spinduliuotės matas.

Radiacijos aptikimas ir matavimas

Jonizacija. Jonų (elektringųjų dalelių) atsiradimas atomui (elektriškai neutraliam) prarandant arba prisijungiant elektronus. Taigi susidaro katjonai (teigiamieji jonai) arba anijonai (neigiamieji jonai). Radiacijos atveju alfa ir beta dalelės jonizuoja medžiagos, kuria jos sklinda atomus ir paprastai kuria katjonus. Jos turi tiek daug energijos, kad sugeba iš atomų išmušti vieną ar daugiau elektronų. Gama spinduliai taip pat gali jonizuoti atomus.

1 Radiacijos matavimai ir taikymas

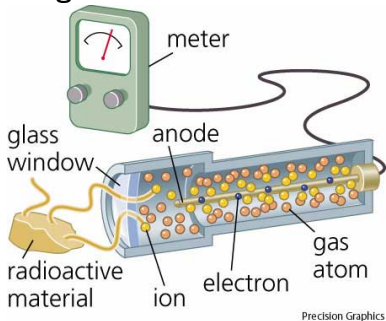
- Radioaktyvumas
- Radiacijos aptikimas ir matavimas
- **Radiacijos jutikliai**
- Radioaktyvumo taikymas
- Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai
- Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija
- Radiacija ir gyvybė

Radiacijos jutikliai

Geigerio skaitiklis. Prietaisas, susidedantis iš Geigerio ir Miulero vamzdelio, impulsų skaitiklio ir/arba impulsų dažnio indikatoriaus, o dažnai ir garsiakalbio. Vamzdelis pripildytas dujų ir turi du elektrodus: jo sienelės veikia kaip kotodas, o centre įtaisytas vielinis anodas. Prietaisas užfiksuoja spinduliuotę, registruodamas tarp elektrodų tekančios srovės impulsus. Jie atsiranda dėl jonizacijos, kurią radiacija sukelia dujose (dažniausiai mažo slėgio argone, į kurį įmaišyta boro). Elektroninis impulsų skaitiklis registruoja impulsus, o impulsų dažnio indikatorius matuoja tų impulsų greitį – vidutinį impulsų skaičių per sekundę.

Radiacijos jutikliai

Geigerio skaitiklis.



- Spinduliuotė patenka pro ploną langelį.
- Kiekviena dalelė ar spindulys jonizuoja dujų atomus.
- Katodas traukia jonus, anodas – elektronus.
- Susidurdami su kitais atomais, jonai ir elektronai sukelia griūtį.
- Anodas pagauna elektronus, o katodas juos "nustumia" (leidamas jonams vėl virsti neutraliais atomais).
- Praskriejus kiekvienai dalelei ar spinduliui, grandinėje atsiranda srovės impulsas (sustiprintas griūtis).

Radiacijos jutikliai

Vulfo (impulsinis) elektroskopas. Viena iš lapelinio elektroskopo rūšių. Oro kameros sienelės apie galvutę sudaro katodą, o šoninis anodas įtaisomas netoli lapelio. Šis traukia elektronus iš galvutės žemyn, įelektrindamas ją teigiamai (lapelis nutolsta nuo strypo, nes abu jie įelektrinti neigiamai, bet ne tiek, kad paliestų anodą, nesant radiacijos). Lapelis užfiksuoja radiaktyviąją spinduliuotę, kiekvieno jos sukkelto jonizacijos akto metu paliesdamas anodą ir grįždamas atgal.

Radiacijos jutikliai

Vulfo elektroskopas.



- Radioaktyviojo šaltinio spinduliuotė metalinėje galvutėje jonizuoja kameros orą.
- Susidaro jonų ir elektronų griūtis.
- Jonai juda katodo link, o elektronai, patekę į kamerą, anodo traukiami žemyn, lapelio link.
- Lapelis pakrypsta į šoną, paliečia anodą – atsiranda srovės impulsas.
- Lapelis tampa neutralus, ir spyruoklės jį grąžina prie strypo. Vyksmas vėl kartojasi.

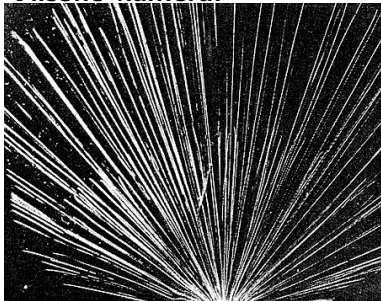
Radiacijos jutikliai

Dozimetras. Prietaisas, kurį nešioja kiekvienas, dirbantis su radioaktyviomis medžiagomis. Dozimetras turi fotojuostelę, kurią radioaktyvioji spinduliuotė apšviečia. Juostelė periodiškai išryškinama, o jos patamsėjimas rodo dozometro savininko gautą spinduliuotės dozę.

Radiacijos jutikliai

Wilsono kamera. Prietaisas, kuriuo galima stebėti alfa ir beta dalelių trajektorijų pėdsakus. Jie susidaro garų (alkoholio ar vandens) kameroje, kurioje garai atšaldomi (vienu iš dviejų skirtingų būdų), kol pasidaro persotinti. Persotintaisiais vadinami garai, kurių temperatūra žemesnė už jų kondensavimosi temperatūrą ir kurie nesikondensuoja, nes nėra dulkelių ar kitų dalelių, apie kurias galėtų kondensuotis lašai.

Vilsono kamera.



- Šaltinio spinduliuotė sukelia garų jonizaciją.
- Atsiradę jonai veikia kaip dulkelių dalelės, t.y. ant jų kondensuojasi garai.
- Tose vietose, kuriose kondensavosi garai, lieka skysčio lašelių pėdsakai (jie išlieka pakankamai ilgai, kad juos būtų galima nufotografuoti).

Radiacijos jutikliai

Burbulinė kamera. Prietaisas, kuris, kaip ir Vilsono kamera, parodo dalelių pėdsakus. Jame yra perkaitintas skystis (paprastai vandenilis ar helis). Skysčio temperatūra aukštesnė už virimo tašką, tačiau skystis neverda, nes yra suslėgtas. Staiga sumažinus slėgį, patekusios į kamerą branduolio dalelės jonizuoja skysčio atomus. Kai tik taip atsitinka, išsiskyrusi energija priverčia skystį virti ir formuojasi burbuliukų pėdsakai. Paprastai pėdsakai būna iškreipti magnetinio lauko, kuris naudojamas dalelėms nukreipti (kad būtų lengviau jas identifikuoti).

Radiacijos jutikliai

Scintiliacinis, arba blyksninis, skaitiklis. Prietaisas, aptinkantis gama spindulius. Jį sudaro scintiliacinis kristalas ir fotodaugintuvas. Kristalas gaminamas iš liuminaforo (pvz., natrio jodido). Veikiami spinduliuotės, liuminoforai blyksi (spinduliuoja scintiliacijas).

- Šaltinio spinduliuotė sukelia liuminoforo švytėjimą.
- Neigiamai įelektrinta šviesai jautri medžiaga. Veikiama šviesos, ji spinduliuoja elektronus.
- Pagrindinė fotodaugintuvo dalis (elektroninis daugintuvas). Elektrinis laukas, nukreiptas tolimojo lauko link, greitina elektronus, šie atsitrenkia į metalo plokštes ir išlaisvina vis daugiau elektronų.
- Kiekvieną gama spindulį atitinka stiprus srovės impulsas. Jį registruoja impulsų skaitiklis ir/arba impulsų dažnio indikatorius.

1 Radiacijos matavimai ir taikymas

- Radioaktyvumas
- Radiacijos aptikimas ir matavimas
- Radiacijos jutikliai
- **Radioaktyvumo taikymas**
- Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai
- Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija
- Radiacija ir gyvybė

Radioaktyvumo taikymas

Radioizotopų (radioaktyviųjų medžiagų) skleidžiama radioaktyvioji spinduliuotė gali būti plačiai taikoma, ypač medicinoje, pramonėje ir archeologiniuose tyrimuose.

Radioterapija. Radioizotopų skleidžiamos spinduliuotės naudojimas ligoms gydyti. Visos gyvosios ląstelės jautrios radiacijai, todėl kruopščiai parinktomis radiacijos dozėmis galima naikinti piktybines (vėžio) ląsteles.

Radioaktyvusis žymėjimas, arba izotopinė radiografija. Kūnu sklindančios medžiagos kelio kontrolės bei jos koncentracijos nustatymo metodas. Tai atliekama į medžiagą įterpiant radioizotopo ir tiriant jo skleidžiamą spinduliuotę. Minėtasis radioizotopas vadinamas izotopu indikatoriumi, o pati medžiaga – žymėtąja. Pavyzdžiui, medicinos diagnostikoje didelis radioizotopo kiekis organe gali liudyti apie piktybinių (vėžio) ląstelių buvimą. Naudojamų radioizotopų pusamžis visada yra trumpas, ir jie skyla į nekenksmingas medžiagas.

Radioaktyvumo taikymas

Gama radiografija (γ radiografija) arba gamagrafija. Tai radiografinės nuotraukos (panašios į įprastą nuotrauką) gavimas naudojant gama spindulius. Gamagrafija taikoma daugelyje sričių, tarp jų ir pramonėje kokybės kontrolei.

Radioanglinio amžiaus nustatymas, arba **radioanglies datavimo metodas**. Tai laiko, praėjusio nuo gyvosios materijos mirties, nustatymo būdas. Visuose gyvuosiuose organizmuose yra nedidelis kiekis anglies-14 (sugeriamo iš atmosferos radioizotopo), kuri ir po organizmo mirties skleidžia spinduliuotę. Ji pamažėle silpsta (anglies-14 pusamžis lygus 5700 metų), todėl pagal radinių spinduliuotės intensyvumą galima apskaičiuoti jų amžių.

Radioaktyvumo taikymas

Elementai, kurių gamtoja nėra. Kaip jau kalbėta, branduolinėmis reakcijomis gauti visų stabilių cheminių elementų, esančių gamtoje, radioaktyvieji izotopai. Elementai, kurių numeriai 43, 61, 85, 87, iš viso neturi stabilių izotopų ir pirmiausia buvo gauti dirbtiniu būdu. Antai elementas techneris, kurio $Z = 43$, turi ilgiausiai gyvuojantį izotopą. Jo pusamžis lygus maždaug milijonui metų.

Taikant branduolines reakcijas, taip pat gauti transuraniniai elementai. Be neptūnio ir plutonio, gauti šie elementai: americis ($Z = 95$), kiuris ($Z = 96$), berklis ($Z = 97$), kalijornis ($Z = 98$), einšteinis ($Z = 99$), fermis ($Z = 100$), mendelevis ($Z = 101$), nobelis ($Z = 102$), laurensis ($Z = 103$), kurčiatovis ($Z = 104$), nilsboris ($Z = 105$). Taip pat 106, 107, 108 elementai, kurie neturi visuotinai priimtų pavadinimų.

Radioaktyvumo taikymas

Žymėtieji atomai. Tiek moksle, tiek gamyboje vis plačiau naudojami įvairių cheminių elementų radioaktyvieji izotopai. Labai svarbus žymėtųjų atomų metodas. Jis remiasi tuo, kad radioaktyviųjų izotopų cheminės savybės nesiskiria nuo tų pačių elementų neradioaktyviųjų izotopų savybių. Radioaktyviuosius izotopus lengva stebėti, nes jie skleidžia radioaktyviuosius spindulius. Radioaktyvumas yra savotiška žymė, pagal kurią galima pasekti elemento kelią vykstant įvairioms cheminėms reakcijoms ir fiziniams medžiagų virsmams. Žymėtųjų atomų metodas pasidarė vienu veiksmingiausių, sprendžiant daugybę biologijos, fiziologijos, medicinos ir kt. problemų.

Radioaktyvieji izotopai – spindulių šaltiniai. Radioaktyvieji izotopai plačiai naudojami moksle, medicinoje ir technikoje kaip kompaktiški didelės energijos spindulių šaltiniai. Kaip γ spindulių šaltinis daugiausia naudojamas radioaktyvusis kobaltas ${}_{27}^{60}\text{Co}$.

Radioaktyvumo taikymas

Radioaktyviųjų izotopų gavimas. Radioaktyvieji izotopai gaminami branduoliniuose reaktoriuose ir elementariųjų dalelių greitintuvuose. Dabartiniu metu izotopus gamina stambi pramonės šaka. Visoje atominėje pramonėje didžiausią naudą žmonijai teikia radioaktyviųjų izotopų gamyba ir naudojimas.

Radioaktyviųjų izotopų panaudojimas biologijoje ir medicinoje.

Vienas svarbiausių tyrinėjimų, atliktų žymėtųjų atomų metodu, – tai medžiagų apykaitos tyrinėjimas. Įrodyta, kad per palyginti trumpą laiką organizmas beveik visiškai atsinaujina. Jį sudarantys atomai pasikeičia naujais.

Tiktai geležis, kaip parodė kraujo izotopinio tyrimo bandymai, yra šios taisyklės išimtis. Geležies yra raudonųjų kraujo kūnelių hemoglobine. Įmaišius į maistą radioaktyviosios geležies $^{59}_{26}\text{Fe}$ atomų, nustatyta, kad jie beveik nepatenka į kraują. Tik tada, kai geležies atsargos organizme išsenka, jis pradeda geležį įsisavinti.

Radioaktyvumo taikymas

Kai nėra pakankamai ilgai gyvuojančių radioaktyviųjų izotopų, pavyzdžiui, tikiama, kaip deguonies ir azoto izotopai, stabilų elementų izotopinė sudėtis keičiasi. Antai, papildžius deguonį izotopo $^{18}_8\text{O}$ pertekliumi, nustatyta, kad fotosintezės metu išsiskiriantis deguonis iš pradžių buvo vandens, o ne anglies dioksido sudėtyje.

Radioaktyvieji izotopai panaudojami medicinoje tiek diagnozei nustatyti, tiek gydymui.

Įleidus nedidelį kiekį radioaktyviojo natrio į kraują, tiriama kraujo apytaka. Jodas intensyviai kaupiasi skydinėje liaukoje, ypač sergant Basedovo liga. Skaitikliu tiriant radioaktyviojo jodo kaupimąsi, galima greitai nustatyti diagnozę. Didelės radioaktyviojo jodo dozės iš dalies ardo nenormaliai besivystančius audinius, todėl radioaktyvųjį jodą galima vartoti Basedovo ligai gydyti.

Intensyvūs kobalto γ spinduliai taikomi įvairiems vėžiniams susirgimams gydyti (kobalto prožektorius).

Radioaktyvumo taikymas

Radioaktyviųjų izotopų panaudojimas pramonėje. Ne mažiau platus radioaktyviųjų izotopų panaudojimas pramonėje. Vienu iš pavyzdžių gali būti toks vidaus degimo variklių stūmoklių žiedų susidėvėjimo kontrolės būdas. Apšaudant stūmoklio žiedą neutronais, jame sukeliama branduolinė reakcija ir jis tampa radioaktyvus. Varikliui dirbant, žiedo dalelės patenka į tepalą. Tiriant tepalo radioaktyvumą po variklio tam tikro darbo laiko, galima sužinoti, kiek nudilęs žiedas.

Radioaktyvieji izotopai informuoja apie difuziją metaluose, procesus, vykstančius aukštakrosnėse, ir t.t. Skvarbiais radioaktyviųjų preparatų γ spinduliais tiriama metalo liejinių vidinė struktūra. Taip nustatoma, ar juose nėra defektų.

Radioaktyvumo taikymas

Radioaktyvieji izotopai žemės ūkyje. Radioaktyvieji izotopai vis plačiau naudojami ir žemės ūkyje. Paveikus augalų (medvilnės, kopūstų, ridikų ir kt.) sėklas radioaktyviųjų preparatų skleidžiamais γ spinduliais, žymiai padidėja derlius.

Didelės radiacijos dozės sukelia augalų ir mikroorganizmų mutacijas. Kai kuriais atvejais jos skatina mutantų su naujomis vertingomis savybėmis atsiradimą (radioselekcija). Šitaip buvo išvestos geros kviečių, pupelių ir kitų kultūrų rūšys, gauti labai produktyvūs mikroorganizmų štamai, naudojami antibiotikų pramonėje. Radioaktyviųjų izotopų γ spinduliai panaudojami kovai su kenksmingais vabzdžiais ir maisto produktų konservavimui.

Žymėtieji atomai plačiai taikomi agrotechnikoje. Pavyzdžiui, norint sužinoti, kokias fosforines trąšas augalai geriausiai įsisavina, įvairios trąšos pažymimos radioaktyviuoju fosforu $^{32}_{15}\text{P}$. Paskui, tiriant augalų radioaktyvumą, galima nustatyti, kokį fosforo kiekį iš įvairių trąšų jie įsisavino.

Radioaktyvumo taikymas

Radioaktyviųjų izotopų panaudojimas archeologijoje. Organinės kilmės (medžio, medžio anglies, audinių ir kt.) senovinių daiktų amžiui nustatyti plačiai taikomas radioaktyviosios anglies metodas. Mat augaluose visada yra β radioaktyvaus anglies izotopo ${}^{14}_6\text{C}$, kurio pusamžis $T = 5700$ metų. Šio izotopo nedidelis kiekis susidaro Žemės atmosferoje iš azoto, veikiamo neutronų. Šie atsiranda vykstant branduolinėms reakcijoms, kurias sukelia greitosios dalelės, patenkančios į atmosferą iš kosmoso (kosminiai spinduliai). Susijungusi su deguonimi, anglis sudaro anglies dioksidą, kurį sugeria augalai, o per juos CO_2 patenka į gyvūnus. Vienas gramas anglies, esančios jaunuose medžiuose, skleidžia apie penkiolika β dalelių per sekundę.

Žuvus organizmui, radioaktyvioji anglis į jį nepatenka. Susikaupęs organizme šio izotopo kiekis dėl radioaktyvumo mažėja. Nustačius anglies procentinę dalį organinėse liekanose, galima išaiškinti jų amžių, jei jis siekia nuo 1000 iki 50000 ir net 100000 metų. Tokiu metodu sužinomas Egipto mumijų, priešistorinių laužų liekanų ir kt. amžius.

Radioaktyvumo taikymas

Radioaktyviųjų izotopų praktinis naudojimas. Šiuo metu žinoma apie 50 natūralių ir per 1000 dirbtinai gautų radioaktyviųjų izotopų. Praktiniu požiūriu labai svarbūs cheminiai preparatai, kuriuose dalis stabiliųjų atomų pakeisti radioaktyviaisiais. Tokie junginiai vadinami žymėtaisiais. Radioaktyviųjų atomų skilimo metu susidariusios dalelės ir gama fotonai radiometriniais prietaisais lengvai registruojami, todėl žymėtieji preparatai plačiai taikomi moksliniams tyrimams ir praktikoje.

Biologiniams tyrimams dažniausiai vartojami į organinius junginius įeinančių elementų radioaktyvieji izotopai, pavyzdžiui, vandenilio ^3H , anglies ^{14}C , fosforo ^{32}P , sieros ^{35}S , geležies ^{59}Fe . Šitokių preparatų įterpus į augalų ar gyvūnų organizmą, galima sekti vieno ar kito cheminio elemento judėjimą ir pasiskirstymą gyvajame organizme. Taip tiriami ląstelių, audinių ir viso organizmo fiziologiniai bei biocheminiai procesai. Jais galima ištirti iš išorės į organizmą injekuotų medžiagų, pavyzdžiui vaistų, šalinimo iš organizmo kelią ir trukmę.

Radioaktyvumo taikymas

Kai kurie piktybiniai navikai ypač gerai kaupia tam tikrus cheminius preparatus, pavyzdžiui, jodo ir fosforo preparatus gerai kaupia galvos smegenų navikai. Jei šie preparatai yra žymietieji, tuomet tokios jų sankaupos lengvai diagnozuojamos. Selektvyioji kaupimosi savybė panaudojama ir terapijai. Dėl radioaktyviųjų spindulių žalingo veikimo gyvajam organizmui, medicinos praktikoje minėtiems tikslams reikia vartoti labai mažas trumpaamžių izotopų dozes ir tik tokių cheminių elementų, kurie iš organizmo greitai pašalinami.

Radioaktyvumo taikymas

Radioaktyvieji izotopai yra alfa, beta ir gama spindulių šaltiniai. Labai skverbūs gama spinduliai tinka defektoskopijai. Visi minėtieji spinduliai naudojami radioterapijoje. Daugiausia jais naikinami piktybiniai navikai ir jų metastazės. Tam tikromis dozėmis švitinamų navikų ląstelės nustoja daugintis, jose sutrinka kraujotaka ir jos žūsta.

Radioaktyvieji spinduliai naikina ir mikrobus, todėl juos galima panaudoti vaistų ir maisto sterilizacijai. Veikiant radioaktyviesiems spinduliams, gali sparčiai vykti polimerų sintezės procesai.

1 Radiacijos matavimai ir taikymas

- Radioaktyvumas
- Radiacijos aptikimas ir matavimas
- Radiacijos jutikliai
- Radioaktyvumo taikymas
- **Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai**
- Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija
- Radiacija ir gyvybė

Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai

Jonizuojantysis spinduliavimas. Pakankamos energijos α bei β dalelės, judėdamos medžiaga, jonizuoja jos atomus ar molekules. Kuo didesnė dalelės energija, tuo daugiau ji sukuria jonų. Vienodos energijos α ar β dalelės sukuria daugmaž vienodą jonų kiekį. Tačiau pastebėta, kad α dalelė medžiagoje nueina trumpesnę kelią negu β dalelė, todėl jos sukurtų jonų linijinis tankis didesnis negu sukurtų β dalelės.

Sklisdami medžiaga, ir *Rentgeno*, ir *gama* spindulių fotonai sukelia arba fotoefektą, arba Komptono reiškinių. Pirmuoju atveju susidaro labai greitai fotoelektronai, antruoju – greitai atatrunkos elektronai. Abiem atvejais elektronai medžiagą jonizuoja.

Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai

Susidūrę su atomo branduoliu, *greitieji neutronai* perduoda jam savo energiją – susidaro greitieji atatrąkos branduoliai. Pastarieji yra elektringi, todėl jie, panašiai kaip α dalelės, jonizuoja medžiagą. Taip susidurdami su branduoliais neutronai lėtėja, iki galų gale branduoliai juos pagauna. Susidaręs izotopas gali būti beta radioaktyvus, t.y. gali išspinduliuoti medžiagą jonizuojančias β daleles ir γ fotonus. Todėl visi čia paminėti spinduliai ar dalelės vadinamos *jonizuojančiuoju spinduliuoimu*. Spinduliavimo poveikis kūnui apibūdinamas sugerto spinduliavimo doze, t.y. medžiagos absorbuota jonizuojančiojo spinduliavimo energija, apskaičiuota kūno masės vienetui.

1 Radiacijos matavimai ir taikymas

- Radioaktyvumas
- Radiacijos aptikimas ir matavimas
- Radiacijos jutikliai
- Radioaktyvumo taikymas
- Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai
- **Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija**
- Radiacija ir gyvybė

Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija

Branduolinė spinduliuotė, kurią sudaro didelės energijos dalelės ar γ kvantai, ardančiai veikia gyvųjų organizmų audinius. Pakenkimas, kurį žmogui gali padaryti branduolinė spinduliuotė, labai priklauso nuo jos energijos, rūšies, veikimo trukmės, o taip pat ir nuo žmogaus sveikatos, amžiaus ir kitų veiksnių. Todėl ištirti ir žinoti visus tuos dalykus yra būtina visiems, kurie užsiima branduoline fizika arba radioaktyviaisiais izotopais.

Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija

Radioaktyviosioms medžiagoms ir jų spinduliavimui kiekybiškai apibūdinti vartojami du būdai:

- nurodomas grynos radioaktyviosios medžiagos kiekis gramais ar pan. Toks būdas turi prasmę silpnai radioaktyviesiems elementams su dideliu pusamžiu, pvz., U, Th, Ra;
- nurodomas radioaktyvaus preparato aktyvumas, t.y. skilimų skaičius per sekundę (Bq).

Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija

Labiausiai branduolinė spinduliuotė biologiškai paveikia organizmą jonizuodama. Organizme yra lengvų elementų: H, C, O, N, Ca, kurie jonizaciniu požiūriu turi panašias savybes, kaip oro dedamosios dalys: N_2 , O_2 , Ar_2 , H_2O , CO_2 . Todėl medicinoje praktiškai Rentgeno ir γ spindulių poveikis organizmui pradėtas matuoti pagal oro jonizaciją, t.y. pagal bendrą sukurtų jonų skaičių. Taip atsirado 1928 m. Rentgeno ir γ spindulių dozės vienetas rentgenas, žymimas R.

1 rentgenas – tai spinduliuotės dozė, sukurianti 1 cm^3 oro normaliosiomis sąlygomis tokią jonizaciją, kad vieno ženklo jonų bendras kruvis būtų lygus 1 CGSE krūvio vienetui.

Į apibrėžtį neįeina trukmė. Tokia pat dozė gali būti suteikta stiprios spinduliuotės per trumpą laiko tarpą ir silpnos per ilgą.

Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija

Kitas dozimetrijoje svarbus dydis yra spinduliuotės intensyvumas. Jam apibrėžti praktikoje vartojamas dydis

Spinduliuotės intensyvumas

dozės galia = $\frac{\text{dozė}}{\text{laikas}}$, pvz., R/h.

Kadangi žmogaus organizmą sudaro kondensuotoji medžiaga, dozės vienetas rentgenas perskaičiuojamas į 1 g oro, kuris užima 733 cm³. Vienam oro molekulių jonui sukurti reikia 32,5 eV energijos. Perskaičiavę visiems jonams reikalingą energiją 1 kg organizmo audinių, gauname

Rentgeno ir energijos sąryšis

1 rentgenas = $8,4 \cdot 10^{-3}$ J/kg = 0,0084 J/kg.

Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija

SI dozės vienetu priimtas grėjus (S. Gray, 1666-1736)

Grėjus

1 Gr = 1 J/kg = 100 radų.

Greta to, dažniau vartojamas vienetas yra

Radas

1 radas = 1 rad = 0,01 J/kg = 0,01 Gr.

Pavadinimas "rad" yra žodžių "radiation absorbed dose" trumpinys. Abu čia išvardyti vienetai: rentgenas ir radas nedaug skiriasi, o kadangi tikslumas nustatant biologinį poveikį yra nedidelis, praktikoje, ypač medicinoje, abe šie vienetai sutapatunami ir dažniausiai vartojamas terminas yra rentgenas. Reikia tik pabrėžti, kad abu šie vienetai tiesiogiai taikomi tik Rentgeno ir γ spindulių sukuriama jonizacijai.

Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija

Branduolio fizikos praktikoje susiduriama ir su daugybe kitų branduolinės spinduliuotės rūšių. Tai gali būti α , β spinduliai, protonai (p), greitėji ir lėtieji neutronai (n) ir kai kurios kitos greitintuvais greitintos dalelės ir branduolių dalijimosi skelveldros. Visa šių spinduliuočių įvairovė aplinką jonizuoja panašiai, tik jų poveikis organizmo audiniams yra skirtingas, t.y. esant tai pačiai jonizacijai, labiau kenksmingas negu Rentgeno ar γ spindulių. Kadangi fizikiniai prietaisai, kurie registruoja jonizaciją, tų biologinių skirtumų nejaučia, teko visą dozių matavimo techniką patikslinti ir išplėsti kitų rūšių spinduliams. Todėl dabar dozimetrinėje praktikoje vartojami tokie rentgeno analogai:

Repas

1 repas = 1 rep.

Pavadinimas kilo iš pirmųjų raidžių tokių žodžių (angliškai): roentgen equivalent physical.

Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija

1 repas – tai dozė bet kurios branduolinės spinduliuotės, kuri sukuria tokį pat jonų skaičių kaip 1 rentgenas Rentgeno arba γ spindulių. Taigi fizikiniai prietaisai – dozimetrai – matuoja bet kokią spinduliuotę repais.

Biologinis poveikis matuojamas remais.

Remas

1 remas = 1 rem.

Jo pavadinimas atsirado iš žodžių (angliškai): roentgen equivalent man. (Nebenaudojamas nuo 1980 m. Kitas vienetas - syvertas.)

1 remas apibūdinamas bet kokios branduolinės spinduliuotės dozė, kuri biologiniu požiūriu paveikia organizmą taip pat kaip 1 rentgenas Rentgeno arba γ spindulių.

Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija

Stipresniam biologiniam poveikiui nusakyti įvairioms spinduliuotės rūšims priskiriamas tam tikras koeficientas, vadinamas biologiniu efektyvumu, sutrumpintai SBE. Jo vertės – lentelėje.

Spinduliuotės rūšis	SBE
Rentgeno spinduliai, γ kvantai ir elektronai	1
Šiluminiai neutronai	5
Protonai, α dalelės, neutronai iki 10 MeV	10
Sunkūs jonai (iš dalijimosi reakcijos)	20

Biologinė dozė skaičiuojama taip:

Biologinė dozė

$$D_{\text{rem}} = \text{SBE} \times D_{\text{rep}}.$$

Teisingai dozei nustatyti reikia kiekvienu atveju žinoti, kokiais spinduliais buvo apšvitinta.

1 Radiacijos matavimai ir taikymas

- Radioaktyvumas
- Radiacijos aptikimas ir matavimas
- Radiacijos jutikliai
- Radioaktyvumo taikymas
- Jonizuojančiojo spinduliavimo poveikis medžiagai
- Biologinis spinduliuotės poveikis. Dozimetrija
- Radiacija ir gyvybė

Radiacija ir gyvybė

Trumpai tariant, radiacija vadinama pavojingoji radiacija – radioaktyvieji ir Rentgeno spinduliai, galintys suardyti atomus ir molekules. (Plačiąja prasme radiacija apima ir regimuosius bei infraraudonuosius spindulius, kurie yra naudingi gyviesiems organizmams.)

Sugertoji dozė dauginama iš tam tikro koeficiento, apibūdinančio spindulių biologinį aktyvumą, ir gaunama ekvivalentinė dozė. Jos vienetas yra syvertas (R. Sievert), sutrumpintai žymimas Sv.

1 syverto dozę gauna žmogus, apšvitintas Rentgeno ar gama spinduliais, jei jo kūno kilograme išsiskiria 1 J energijos.

Radiacija ir gyvybė

Iš *natūralių šaltinių* per metus žmogus gauna tokias ekvivalentines dozes (mSv):

- Išoriniai šaltiniai:
 - ▶ Kosminiai spinduliai: 0,4
 - ▶ Žemės uolienos: 0,5
- Vidiniai šaltiniai
 - ▶ ^{40}K : 0,2
 - ▶ Sunkieji elementai: 0,1
 - ▶ ^{14}C : <0,1

Radiacija ir gyvybė

Iš *dirbtinių šaltinių* per metus žmogus gauna tokias ekvivalentines dozes (mSv):

- Radiodiagnostikoje:
 - ▶ Pacientai: 1,0
 - ▶ Personalas 3,0
- Skrendant lėktuvu:
 - ▶ Keleviai: $<0,1$
 - ▶ Įgula: 1,5
- Gyvenamajame pastate:
 - ▶ Plytiniamas, betoniniame: $\sim 0,2$
 - ▶ Akmeniniame: $\sim 0,3$
- Dėl atominių elektrinių darbo:
 - ▶ Vidutiniškai: 0,1
 - ▶ Gyvenant šalia: $\sim 0,1$

Radiacija ir gyvybė

Kokios būna pasekmės, jei branduolinė spinduliuotė paveikia visą žmogaus kūną, vaizduoja lentelė:

Vienkartinė dozė, rem	Poveikis žmogui
0–25	Pastebimų pažeidimų nerandama
25–50	Pastebimų pažeidimų nerandama. Galimi kraujo pakitimai
50–100	Yra būdingų kraujo pakitimų, darbingumas neprarastas
100–200	Iš dalies prarastas darbingumas
200–400	Nedarbingumas. Galima mirtis
400	Mirtingumas 50 proc.
600	Mirtina dozė

Radiacija ir gyvybė

Mirtina dozė visam kūnui yra apytiksliai 450 R. Galima suskaičiuoti energiją, kurią gautų vienas žmogaus kūno gramas:

$$450 \cdot 0,01 \text{ J/kg} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ J/g.}$$

Jei ši energija būtų suteikta kaip šiluma, tai būtų

$$Q = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ J/g} \cdot 0,24 \text{ cal/J} = 0,001 \text{ cal/g.}$$

Vadinasi, mirtinoji dozė pakeltų kūno temperatūrą tik $0,001^{\circ}\text{C}$, t.y. nepastebimai mažai. Visas pavojus tas, kad ši energija sunaudojama ne šilumai, o molekulių jonizacijai, kuri sutrikdo organizmo veiklą.

Apsisaugoti nuo branduolinės spinduliuotės vartojami sugeriantys ekranai, pagaminti iš medžiagos, kurioje yra sunkesnių elementų. Didžiausiu skvarbumu pasižymi kieti γ spinduliai, kurių sugerties dėsnis yra eksponentinis. Juos visiškai sulaikyti galima tik labia storu sluoksniu. Prie labai didelių energijų branduolinių įrenginių statomi betoniniai kelių metrų storio ekranai.

Radiacija ir gyvybė



Tarptautinis radioaktyvaus pavojaus ženklas, nurodantis, jog juo pažymėtuose induose ar patalpose yra radioaktyviųjų medžiagų.

Radiacija ir gyvybė

Gyvoji ląstelė – tai sudėtingas mechanizmas, negalįs normaliai funkcionuoti pažeidus jo atskiras dalis. Netgi silpni spinduliai gali smarkiai pažeisti ląsteles ir sukelti pavojingus susirgimus (spindulinę ligą). Kai spindulių dozė didelė, visi gyvieji organizmai žūsta. Šie spinduliai pavojingi dar ir dėl to, kad net mirtinos jų dozės nesukelia jokių skausmo pojūčių.

Spindulių poveikio biologiniams objektams mechanizmas dar nepakankamai ištirtas. Tačiau aišku, kad radioaktyvūs spinduliai, jonizuodami molekules ir atomus, pakeičia jų cheminį aktyvumą. Labai jautrūs spinduliams ląstelių branduoliai, ypač tų, kuriuos greitai dalijasi. Taigi pirmiausia spinduliai organizme pažeidžia kaulų smegenis, ir dėl to sutrinka kraujo gamyba. Toliau pažeidžiamos virškinamojo trakto ir kitų organų ląstelės.

Radiacija ir gyvybė

Spinduliai labai stipriai veikia paveldimumą. Dažniausiai poveikis yra žalingas.

Tačiau gyvų organizmų apšvitinimas gali duoti ir tam tikrą naudą. Greitai besidauginančios piktybinių auglių (vėžio) ląstelės jautresnės spinduliams negu normalios. Tuo pagrįstas vėžio auglio plitimo stabdymas radioaktyviųjų preparatų γ spinduliais, kurie pasirodė esant efektyvesni negu anksčiau taikytieji Rentgeno spinduliai.