Някои хигиенни и екологични аспекти на радиоактивността в обучението по медицинска физика и биофизика

Стефан Кръстев

Certain hygienic and ecological aspects of radioactivity in the teaching of Medical Physics and Biophysics: *This article highlights the necessity of interdisciplinary approach in the discussing of radioactivity-related issues when teaching Medical Physics and Biophysics. Discussed are current issues and practical experience gained in the course of work with students and conducting of discussions referring to the theoretical part of the laboratory exercise, as well as an educational experiment connected with determining of the activity per unit of volume of β-radioactive aerosols.*

Key words: *hygienic and ecological aspects of radioactivity, medical physics and biophysics education, educational experiment, β-radioactive aerosols.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Радиоактивният разпад и действието на йонизиращите лъчения върху организма заемат особено място в обучението по медицинска физика и биофизика за студентите от медицинските специалности. Въпросите, свързани с външното и вътрешно облъчване в резултат на действието на естествения радиационен фон и от техногенни източници и тяхното радиобиологичното действие, предизвикват основателен интерес. Инцидентите с ядрени реактори, като тези в Чернобил и Фукушима, засягащи значителни територии и население, придобиват характер на екологични катастрофи с последици, включително и генетични, отиващи далече в бъдещето. Всичко това налага изучаването на физичните основи на радиоактивноста да се разглежда в тясна връзка с хигиенните и екологични аспекти, като следва да бъде ориентирано към подготовка на студентите за усвояването на съответните клинични учебни дисциплини, и да осъществи така необходимата интердисциплинарна връзка. За тази цел беше разработено и внедрено в учебния процес лабораторно упражнение „Радиоактивност. Определяне обемната активност на β-радиоактивни аерозоли.“[1].

ИЗЛОЖЕНИЕ

В теоретичната част на лабораторното упражнение студентите се запознават с радиоактивността и основните видове радиоактивен разпад, основния закон за радиоактивен разпад, дефинират се понятията активност и период на полуразпад и единиците за активност на радиоактивен източник, обемна активност, масова активност.

В хода на дискусията по темата студентите проявяват особен интерес по отношение на характера на естествения радиационен фон и техногенните радионуклиди и тяхното въздействие върху човека, както и на физичните принципи на радиационната защита, хигиенните и екологични аспекти и последици от тежките инциденти, свързани с експлоатацията на ядрени реактори.

При обсъждането се подчертава, че природният радиационен фон се формира от космичното лъчение, космогенните радионуклиди и земните природни радионуклиди. Общо на космичното лъчение и свързаните с него космогенни радионуклиди се дължи около 14% от средната годишна еквивалентна доза от природния радиационен фон. На земната повърхност (сушата и водата) природният фон се дължи основно на радионуклидите от радиоактивния ред на урана ($_{92}U^{238}$), тория ($_{90}Th^{232}$) и т. нар. актиноуранов ред ($_{92}U^{235}$). Облъчването от тези радионуклиди е външно и вътрешно, а за България общия природен радиационен фон е близък до средната стойност регистрирана по света [12].

Радиоактивността на атмосферният въздух е свързана главно с присъствието на радон и продуктите на неговия разпад. Радонът се вдишва с въздуха и заедно с

продуктите на неговия разпад облъчва белите дробове. Особеният интерес към радона и неговото радиологично действие в наше време е свързан с изследванията през 80-те години на миналия век, при които се установява, че концентрацията на радон във въздуха в жилищни домове често превишава дори пределно допустимите концентрации за работещите в урановите мини. Установява се, че най-голям принос за облъчването на населението на Земята има изотопът на радона с най-голям период на полуразпад (3,8 дни) $_{86}Rn^{222}$, образуващ се при алфа-разпада на най-разпространения изотоп на радия, $_{88}Ra^{226}$ (период на полуразпад 1,6.10^3 години), от реда на разпад на урана $_{92}U^{238}$ (период на полуразпад 4,5.10^9 години). Като елемент от урано-радиевото семейство радонът е разпространен навсякъде по Земята. Част от радона отделен в земната кора дифундира през въздушните пори, достига повърхността и постъпва в приземния въздушен слой.

От своя страна при радиоактивното разпадане на газообразният $_{86}Rn^{222}$ се образува верига от нови краткоживущи радиоактивни продукти, а именно полоний $_{84}Po^{218}$, олово $_{82}Pb^{214}$, бисмут $_{83}Bi^{214}$ и полоний $_{84}Po^{214}$. При среща в атмосферата с различни аерозоли (твърди частици прах, дим или капчици мъгла) тези дъщерни радионуклиди се отлагат на тяхната повърност, превръщайки ги в радиоактивни аерозоли. Активността на тези аерозоли е обусловена преди всичко от β-радионуклидите бисмут $_{83}Bi^{214}$ и олово $_{82}Pb^{214}$. Интересен факт е, че явявайки се инертен газ самият радон не образува аерозоли. В резултат на редица изследвания е установено, че 98 % от вътрешното облъчване на човека се получава в резултат на вдишването на дъщерните продукти от разпада на радона, които се задържат и въздействат върху бронхиалния епител в белите дробове, като само 2 % се дължат на самия $_{86}Rn^{222}$. Според Научния комитет за ефекта на атомната радиация при ООН, над половината от естественото фонова облъчване на населението от средно 2,40 mSv/годишно се дължи на атмосферния въздух и най-вече на радона, като в отделни райони може да достигне до 10 mSv/годишно [12].

Радонът и продуктите на неговия разпад са втората по важност причина за рак на белите дробове [2], като само за САЩ годишно между 15000 и 22000 смъртни случая са свързани с радона [7]. Рискът за развитие на рак на белите дробове нараства с 8—16 % за всеки 100 Bq/m^3 нарастване на обемната активност на радона [11].

Особено интересна е връзката между радона и тютюнопушенето, като основен фактор за развитието на рак на белите дробове [3], при което наред с известните над 60 канцерогени [5], в тютюневият дим се съдържат радионуклиди дъщерни продукти от разпада на радона. По тази причина пасивното тютюнопушене може да бъде причина за рак на белите дробове и при непушачи, като може да се смята, че представлява по-голяма опасност и от директното тютюнопушене [10]. Особено показателно е, че изхождайки от рисковете, свързани с радона и продуктите на неговия разпад, през 2005 г. Световната здравна организация стартира международен проект (International Radon Project – IRP).

В хода на обсъждането със студентите се дискутира въпроса за действието на инкорпорираните в организма радионуклиди, първични процеси (образуване на несвойствени радикали, йони и възбудени молекули, образуване при наличието на кислород на високореактивни радикали), и вторични процеси - след реакцията на тези първични продукти с молекулите на живата тъкан (липиди, нуклеинови киселини, белтъци) получените вторични продукти могат да станат центрове на верижни процеси. В крайна сметка увреждания на важни биологични молекули и клетъчни структури могат да прерастнат в лъчево поражение, с неговите соматични и генетични ефекти.

Особен интерес у студентите предизвиква радиоактивното замърсяване с радионуклиди от техногенни източници. Доколкото след периода на интензивни експерименти с ядрени оръжия през 50-те и началото на 60-те години на миналия

век, в наше време те се смятат само като потенциална опасност, обсъждането обикновено винаги се свързва с аварии в ядрени енергийни мощности. От техногенните радионуклиди освободени при такива аварии особена опасност представляват т.нар. „горещи частици“, представляващи на практика относително големи конгломерати от твърди продукти на горене и други компоненти, съдържащи радионуклиди—ядра на урана или продукти от неговия разпад в ядрените реактори. Сред изотопите, освобождавани при такива ядрени инциденти, най-голям риск за здравето представляват йод $_{53}I^{131}$, стронций $_{38}Sr^{90}$ (период на полуразпад 28,2 години), цезий $_{55}Cs^{134}$ (период на полуразпад 2,1 години, и по тази причина с относително по-висока специфична активност от $_{55}Cs^{137}$), цезий $_{55}Cs^{137}$ (период на полуразпад 30 години). Трябва да се подчертае,че йодът се натрупва в щитовидната жлеза, а стронцият – в костите, поради което човешкият организъм се подлага на продължително вътрешно облъчване.

От гледна точка на радиационната защита най-важният радиоактивен изотоп на йода е $_{53}I^{131}$ (период на полуразпадане 8 дни), тъй като значителна част от активността на радиоактивните вещества, които се изхвърлят в околната среда при ядрени аварии, се формира именно от него. В първите часове след възникване на ядрена авария $_{53}I^{131}$ постъпва в организма главно чрез вдишване, при което бързо прониква в кръвта, натрупва се в щитовидната жлеза, което води до голямо дозово натоварване и риск от развитие на раково заболяване. Отбелязва се, че за предотвратяване натрупването на $_{53}I^{131}$ в щитовидната жлеза се прилага йодна профилактика, като за целта предварително щитовидната жлеза се насища със стабилен (нерадиоактивен) йод. Специално следва да се подчертае в хода на обсъждането, че такава йодна профилактика не бива да се прилага самопроизволно, като схемата и реда за прилагането й са определени в Националния авариен план.

В хода на обсъждането студентите се интересуват от аварията в АЕЦ Чернобил (1986), както и тази в АЕЦ Фукушима I (2011) и последиците от тях.

При ядрената авария в Чернобилската АЕЦ е изхвърлен радиоактивен материал надвишаващ 400 пъти този при атомната бомба над Хирошима (1945), като приблизително 100.10^3 km^2 са замърсени от облак радиоактивен прах, поразил най-тежко територии на Украйна, Белорус и Русия, като по-ниски нива на замърсяване са регистрирани в практически цяла Европа [6]. Под формата на пари и твърди частици са освободени около 1760 PBq радиоактивен йод $_{53}I^{131}$, както и под формата на аерозоли 85 PBq радиоактивен цезий $_{55}Cs^{137}$ и телурий. Смята се, че в атмосферата са изхвърлени радионуклиди с обща активност около 5200 PBq. Радиоактивно са замърсени почвата, водите, флората и фауната на огромни райони, което в крайна сметка има характер на екологична катастрофа. Особено тежки са последиците за хората, като освен загиналите от остра лъчева болест непосредствено в аварията и в процеса на потушаване й, значителен е броя на другите засегнати лица. Смята, че основното заболяване е рак на щитовидната жлеза при облъчените деца. Към 2005 г. са установени над 6000 случая на рак на щитовидната жлеза при деца и юноши облъчени при аварията, като този брой се очаква да нараства с времето [13], а според други автори засегнатите от рак на щитовидната жлеза са приблизително 10000, като се очаква техният брой да нарасне в бъдеще до 50000 [9].

Ядрената авария в АЕЦ Фукушима I (2011) възниква по време на мощно земетресение в Тихия океан и последвала го вълна цунами, която наводнява централата, поврежда електрогенераторите и електрониката в блоковете, прекъсва външното електрозахранване на централата, нарушава се охлаждането на реакторите, при което възникват взривове и пожари. Щетите от земетресението затрудняват бързата външна намеса в засегнатия район. В процесът на потушаване на аварията в океана са изхвърлени над 10000 тона високорадиоактивна вода, а радиоактивният облак, воден от въздушните течения, се насочва на изток и

преминава над Тихия океан. Независимо, че съществуват противоречиви данни, смята се, че при тази катасрофа са освободени приблизително 900 PBq радиоактивни субстанции, или приблизително 1/6 от тези при аварията в Чернобил [4]. Установява се, че аварията във "Фукушима-1" не е била природна, а техногенна катастрофа, като атомната централа не е била подготвена нито за силно земетресение, нито за цунами [4].

При обсъждането студентите проявяват подчертан интерес по отношение на актуалният въпрос за рисковете и опасността от такива инциденти в бъдеще. Доколко ползата от производството на енергия от атомните електроцентрали е съизмерима с последиците от подобни събития и каква е вероятността за това те да се случат? Въпросът „за или против“ атомната енергетика е сложен и няма еднозначен отговор. Балансът между икономическата целесъобразност и потенциалният риск са сред основните дискутирани теми и имат строго специфичен характер за всеки един от разглежданите случаи. Възможно е с остаряването на съществуващите реактори рискът от подобни инциденти да нараства. По данни на международната агенция за атомна енергия (МААЕ) от работещите към 2011 г. по света 435 ядрени реактори, една съществена част са построени преди повече от 25 години [8].

След проведената дискусия се преминава към практическа работа. Вследствие относително малката концентрация на радиоактивните аерозоли във въздуха тяхната активност не може да бъде измерена непосредствено. Така, за целите на учебният експеримент се използва изработена от автора опитна постановка, основана на аспирационния метод, при който с помощта на аспириращо устройство с известен дебит, определен обем въздух се прекарва през подходящ микрофилтър, след което с помощта на дозиметър-радиометър се определя плътност на потока β-лъчение от изолираните аерозоли, а отчитайки площта на филтъра се пресмята неговата β-активност. Обемната β-активност се пресмята като се отчете тази активност и обемът въздух, от който са извлечени изследваните аерозоли, след което се прави оценка за обемната концентрация на β-радионуклиди. Получените резултати се анализират и се правят съответните изводи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Студентите проявяват подчертан интерес към физичните основи на радиоактивността и радиобиологичното действие на йонизиращите лъчения. Обсъжданото лабораторно упражнение и провежданият учебен експеримент свързан с определяне обемната активност на β-радиоактивни аерозоли, както и анализа на получаваните резултати, дават възможност студентите да затвърдят получените знания, да интерпретират установените физични факти в техния хигиенен и екологичен аспект. Лабораторното упражнение първоначално беше предназначено за специалността „инспектор по обществено здраве“, но като особено успешно, впоследствие беше включено и в учебната програма на специалност „медицина“.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Кръстев, С., Радиоактивност. Определяне обемната активност на β-радиоактивни аерозоли, Катедра “Физика и биофизика“, Медицински университет „Проф.д-р П. Стоянов“—Варна, 2001, 2008.

[2] Alberg A.J., Samuel J.M., Epidemiology of lung cancer, *Chest*, **132** (S3), 29S—55S, 2007.

[3] Biesalski, H.K., Bueno de Mesquita B., Chesson A. et al. (1998). "European Consensus Statement on Lung Cancer: risk factors and prevention. Lung Cancer Panel". *CA Cancer J Clin* (Smoking is the major risk factor, accounting for about 90% of lung cancer incidence.) **48** (3): 167–176; discussion 164–166, (PMID 9594919.)

[4] Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, The National Diet of Japan, 2012.

[5] Hecht, S. (2003). "Tobacco carcinogens, their biomarkers and tobacco-induced cancer". *Nature Reviews. Cancer* (Nature Publishing Group) **3** (10):733–744.

[6] Marples, David R. (1996) "Chernobyl: The Decade of Despair" in *Bulletin of the Atomic Scientists*, May 1996. p. 20.

[7] National Cancer Institute at the National Institutes of Health http://www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/Risk/radon)

[8] Nuclear Power Reactors in the World 2011 Edition, Reference Data Series 2, International Atomic Energy Agency, 82 pages, Vienna, 2011.

[9] Pflugbeil S., Claussen A., "20 years after Chernobyl – The ongoing health effects". IPPNW, April 2006. (http://www.ippnw-students.org/chernobyl/research.html)

[10] Schick, S., Glantz S. (2005), Philip Morris toxicological experiments with fresh sidestream smoke: more toxic than mainstream smoke, *Tobacco Control*, **14**(6):396–404, (PMID 16319363.).

[11] Schmid K., Kuwert T., Drexler H. (2010). "Radon in Indoor Spaces: An Underestimated Risk Factor for Lung Cancer in Environmental Medicine". *Dtsch Arztebl Int* **107** (11): 181–6. (PMID 20386676).

[12] UNSCEAR 2000 Report: Sources and Effects of Ionizing Radiations; vol. I, II, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, 2000.

[13] UNSCEAR 2008 REPORT: Sources and Effects of Ionizing Radiations; vol. I, II, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York,, 2011.

За контакти:

Гл. ас. Стефан Кръстев, дбф, Катедра“Физика и биофизика“, Медицински университет „Проф.д-р П. Стоянов“—Варна, тел. 052 623337,

e-mail: krustev@mu-varna.bg

Докладът е рецензиран.

РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ"
UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV"

ДИПЛОМА

Програмният комитет на
Научната конференция РУ&СУ'12
награждава с КРИСТАЛЕН ПРИЗ
"THE BEST PAPER"
д-р СТЕФАН КРЪСТЕВ, дбф
автор на доклада
"Някои хигиенни и екологични аспекти на радиоактивността в обучението по медицинска физика и биофизика"

DIPLOMA

The Programme Committee of
the Scientific Conference RU&SU'12
Awards the Crystal Prize "THE BEST PAPER"
to Dr. STEFAN KRASTEV, Ph.D.
author of the paper
"Certain hygienic and ecological aspects of radioactivity in the teaching of Medical Physics and Biophysics"

РЕКТОР — *проф. д.т.н. Христо Белоев*
RECTOR — *Prof. DSc Hristo Beloev, DHC*

30.10.2012