

УДК 658.562: 621

PACS 29.17.+w

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.42.196-201

І.І. Гайсак, В.О. Мартишичкін, Р.М. Плекан, О.Г. Окунєв,
М.Т. Саболчій

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54
haysak@meta.ua, vasul.martushychkin@uzhnu.edu.ua

ВИМІРЮВАННЯ АБСОЛЮТНОЇ ВЕЛИЧИНИ ЕКСПОЗИЦІЙНОЇ ДОЗИ НА БЕТАТРОНІ Б-25

Радіобіологічні дослідження, лікування злоякісних пухлин, вивчення радіаційних дефектів – це основні задачі, які потребують використання пучків гальмівного випромінювання прискорювачів заряджених частинок. У зв'язку з цим першочерговою задачею стає визначення дози опромінення на прискорювачах, зокрема, електронних. У роботі пропонується один з методів вимірювання експозиційної дози на електронному прискорювачі – бетатроні Б-25. Складена калібрувальна таблиця для прохідної та абсолютної камер прискорювача та отримано значення експозиційної дози за час експерименту.

Ключові слова: бетатрон, прохідна та абсолютна камери, гальмівне випромінювання, калібрування, інтенсивність, доза опромінення.

Вступ

Серед багатьох типів прискорювачів заряджених частинок у наукових та практичних цілях індукційний прискорювач електронів займає особливе місце. У бетатроні для прискорення електронів по круговій орбіті використовують електричне поле, напруженість якого змінюється магнітним потоком. В Ужгородському національному університеті функціонують два прискорювачі електронів – мікротрон М-10 на енергію електронів до 10 МеВ та бетатрон Б-25, в якому внутрішній пучок електронів прискорюється до енергії 25 МеВ. Індукційний електронний прискорювач бетатрон у порівнянні з мікротроном має суттєву перевагу у можливості плавної зміни величини енергії прискореного пучка електронів. Але недоліком у цьому порівнянні є значно менша (до трьох порядків) інтенсивність прискореного пучка. Однак цей факт не відіграє суттєвої ролі при дослідженнях впливу радіації для потреб біології та медицини [1].

Дослідження живих об'єктів потребують відносно невисоких доз опромінення. У таких дослідженнях важливе значення має прицезійне визначення абсолютних величин доз опромінення, отримуваних на

гальмівних пучках прискорювачів заряджених частинок.

Методика експерименту

Особливість бетатрона Б-25 полягає в тому, що з прискорювальної камери виводиться не електронний пучок (як в лінійних прискорювачах та мікротроні), а пучок гальмівних гамма-квантів, утворених на внутрішній конвертуючій мішені прискорювальної камери бетатрона [2].

Умовна схема будови бетатрона наведена на рис. 1. Електрони з інжектора 4 захоплюються на рівноважну орбіту та прискорюються вихровим електричним полем, що викликається змінним магнітним полем електромагніту 1. У кінці циклу прискорення електрони попадають на гальмівну мішень 5, після чого формується пучок гальмівного електромагнітного випромінювання, який покидає прискорювальну камеру (рис. 2).

Випромінювання бетатрона Б-25 має імпульсний характер з частотою повторення, рівній частоті електромагнітного поля (50 Гц). Енергетичний спектр гамма-квантів має неперервну форму в діапазоні від нуля до енергії прискорених електронів [3].

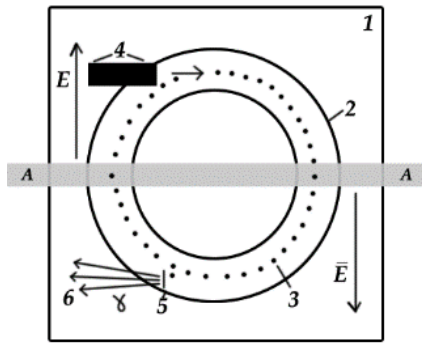


Рис. 1. Схема будови бетатрону:

1 – електромагніт, 2 - прискорювальна камера бетатрону, 3 – орбіта електронів, 4 – інжектор, 5 – гальмівна мішень, 6 – гальмівне гамма-випромінювання. Вектори E та H – напруженості вихрового електричного та магнітного полів.

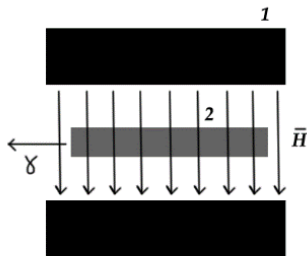


Рис. 2. Вигляд збоку (переріз А-А).

Інтенсивність і геометричні розміри виведеного пучка гамма-квантів залежать від енергії прискорених електронів. Діючий бетатрон Б-25 оптимізований на прискорення електронів до 25 МеВ. При зниженні енергії електронів зменшується інтенсивність пучка гамма-квантів і зростає його розходження [4-6] (рис. 3). Найбільш ефективно використання бетатрону Б-25 досягається при енергіях прискорених електронів в межах 15-20 МеВ.

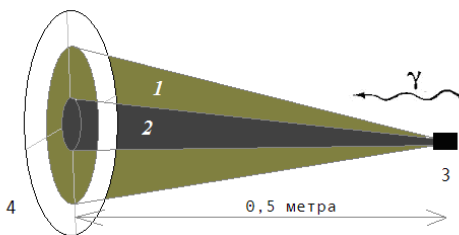


Рис. 3. Розсіяння пучка при зміні енергії прискорення:

1 – пучок з енергією 10 МеВ, 2 – пучок з енергією 20 МеВ, 3 – гальмівна мішень, 4 – опромінюваний зразок.

При проведенні експериментів на прискорювачах важливим параметром є експозиційна доза, яка є мірою іонізації повітря і дорівнює відношенню сумарного електричного заряду іонів одного знаку, утвореного іонізуючим випромінюванням, до маси 1 кг повітря. У даній роботі використовується позасистемна одиниця експозиційної дози — рентген (P) – одиниця вимірювання, що визначає іонізуючу здатність рентгенівського і гамма-випромінювання у 1 см³ повітря [7]

$$1 P = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг} . \quad (1)$$

Експозиційна доза вказує на величину заряду, який утворюється в повітрі на тому місці, де розташовується опромінюваний зразок. Умовна схема опромінення зразка для визначення абсолютного значення експозиційної дози наведена на рис. 4.

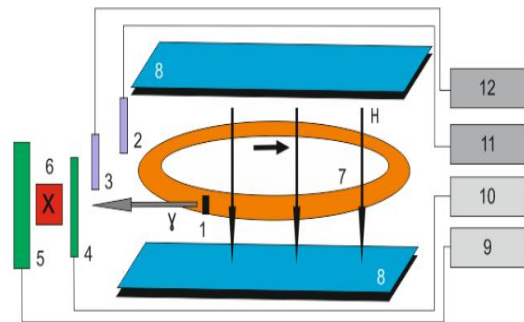


Рис. 4. Схема експерименту для вимірювання експозиційної дози:

1 - вольфрамова мішень, 2-3 - кульові камери, 4 - прохідна камера, 5 – абсолютна камера, 6 – мішень, 7 - тороїдальна камера, 8 – електромагніти, 9 - перерахунковий пристрій, 10 – вольтметр, 11-12 - клінічні дозиметри RTF27012.

Для контролю пучка гальмівного випромінювання в експерименті задіяні прохідна іонізаційна камера, абсолютна іонізаційна камера, дві кульові камери клінічного дозиметра RTF27012. Тонка прохідна іонізаційна камера розташована перед опромінюваним зразком (мішенню) під час проведення опромінення. Покази прохідної камери пропорційні величині експозиційної дози [8, 9]. Для визначення абсолютного значення експозиційної дози використовується саме абсолютна іонізаційна камера, в якій повністю поглинаються усі гамма-кванти пучка.

Крім прохідної та абсолютних камер знімаються покази з двох кульових камер, які розташовані дещо збоку від пучка гамма-квантів. Покази кульових камер пропорційні інтенсивності електронного пучка. Кульові камери незалежно проходять калібрування стандартними еталонними джерелами бета-частинок та гамма-квантів (комплект клінічного дозиметра).

Експериментальні дані, їх обговорення

На початку експерименту було проведено калібрування клінічних дозиметрів RTF27012, до яких були під'єднанні кульові камери, що входили в комплект до дозиметрів. З цього комплекту також було використано еталонне джерело бета-частинок $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ ($T_{1/2} = 29,12$ р.). Активність джерела на час його випуску (березень 1979 р.) сягала 5 мКі. За допомогою перерахунку активності джерела за формулою

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

було встановлено, що на час проведення калібрування пристроїв активність джерела β^- -частинок становить 2,08 мКі або 3,8 P/хв. У свою чергу виміри дози клінічним дозиметром RTF27012 для різних часових інтервалів показали, що дозиметр працює з похибкою 9%, що суттєво не змінює дані, отримані у ході калібрування [10, 11].

Далі у таблицях 1-4 приведено результати для прохідної та абсолютної камер за час опромінювання. Час набору дози дорівнював 15 хв. Енергія змінювалась від 10 до 24 МеВ. У таблицях дані отримані при поступовому збільшенні енергії пучка. Тому представляло інтерес перевірити як будуть вести себе прилади при зменшенні енергії пучка (див. табл. 5). Останній вимір показав, що бетатрон працює однаково стабільно як при збільшенні, так і при зменшенні енергії пучка. Дані при $E = 25$ МеВ відповідають паспортним даним прискорювача. Далі з урахуванням похибок була побудована калібрувальна таблиця співвідношення показів прохідної камери до показів клінічного дозиметра (див. табл. 6).

Табл. 1. Експериментальні дані (контрольний вимір 1).

Енергія, МеВ	Час, хв	Абсолютна камера, В	Прохідна камера, імп.
10	15	0,617	4304
15	15	1,301	4947
20	15	1,810	2750
24	15	1,700	2346

Табл. 2. Експериментальні дані (контрольний вимір 2).

Енергія, МеВ	Час, хв	Абсолютна камера, В	Прохідна камера, імп.
10	15	0,618	4817
15	15	1,600	4758
20	15	1,927	2314
24	15	2,108	3604

Табл. 3. Експериментальні дані (контрольний вимір 3).

Енергія, МеВ	Час, хв	Абсолютна камера, В	Прохідна камера, імп.
10	15	0,690	3438
15	15	1,652	4203
20	15	2,397	2894
24	15	2,398	2875

Табл. 4. Експериментальні дані (контрольний вимір 4).

Енергія, МеВ	Час, хв	Абсолютна камера, В	Прохідна камера, імп.
10	15	0,722	6364
15	15	1,719	6483
20	15	2,431	3271
24	15	2,426	3507

Табл. 5. Експериментальні дані (контрольний вимір 5).

Енергія, МеВ	Час, хв	Абсолютна камера, В	Прохідна камера, імп.
24	15	1,973	2631
20	15	1,988	2953
15	15	1,528	4213
10	15	0,668	3603

Табл. 6. Калібрувальна таблиця прохідної камери.

Експозиційна доза, Р	Кількість імпульсів в прохідній камері, імп.	Абсолютна похибка, \pm імп.
1	38	0,874
10	380	8,74
20	760	17,48
30	1140	26,22
40	1520	34,96

Висновки

Одними з основних задач, які потребують використання пучків гальмівного випромінювання, є радіобіологічні дослідження, лікування злоякісних пухлин, прискорення хімічних процесів, вивчення радіаційних дефектів, дефектоскопія металів. У зв'язку з цим першочерговою задачею на прискорювачах заряджених частинок є визначення дози опромінення.

У даній роботі описаний один з методів вимірювання експозиційної дози від прискорювача заряджених частинок бетатрону Б-25. Для визначення експозиційної дози використовувались абсолютна іонізаційна камера, прохідна камера та дві кульові камери клінічного дозиметра RTF27012. Кульові камери незалежно проходили калібрування стандартними еталонними джерелами бета-частинок та гамма-квантів (комплект клінічного дозиметра). Одержана калібрувальна таблиця дає можливість прогнозувати опромінення різного типу мішеней при дослідженнях впливу радіації для потреб радіофізики, біології та медицини.

На закінчення автори висловлюють щире подяку О.М. Парлагу за цінні консультації та всебічну допомогу при проведенні експериментальних вимірів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гурин А.Г., Ложкин Р.С. Требования к параметрам линейных индукционных ускорителей, применяемых для очистки воды // Вестник НТУ ХПИ. – 2003. – №4. – С. 83-86.
2. Москалев В.А., Чахлов В.Л. Бетатроны. - Томск: из-во Томского политехнического университета, 2009. – 267 с.
3. Комар А.П., Круглов С.П., Лопатин И.В. Измерение полной энергии пучков тормозного излучения от электронных ускорителей. – Ленинград: Наука, 1971. – 172 с.
4. Хвастунов М.С. Циклический индукционный ускоритель // Приборы и техника эксперимента. – 1981. – №3. – С. 20-23.
5. Вахрушин Ю.П. Линейные индукционные ускорители – Москва: Атомиздат, 1978. – 248 с.
6. Абрамян В.А. Промышленные ускорители электронов. - Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.
7. Ремез Г.А. Радиоизмерения. – Москва: Связьиздат, 1960. – 316 с.
8. Ракобольская И.В. Ядерная физика. – Москва: из-во МГУ, 1981. – 296 с.
9. Булавін Л.А., Тартаковський В.К. Ядерна фізика. – Київ: Знання, 2005. – 439 с.
10. Гопыч П.М., Залюбовский И.И. Ядерная спектроскопия. – Харьков: Вища школа, 1980. – 384 с.
11. Гусев Н.Г. Защита от ионизирующих излучений – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 512 с.

Стаття надійшла до редакції 3.12.2017

И.И. Гайсак, В.А. Мартышичкин, Р.М. Плекан, А.Г. Окунев,
М.Т. Саболчий

Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

ИЗМЕРЕНИЕ АБСОЛЮТНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ НА БЕТАТРОНЕ Б-25

Радиобиологические исследования, лечение злокачественных опухолей, изучение радиационных дефектов - это основные задачи, которые требуют использования пучков тормозного излучения ускорителей заряженных частиц. В связи с этим первоочередной задачей становится определение дозы облучения на ускорителях, в частности, электронных. В работе предлагается один из методов измерения экспозиционной дозы на электронном ускорителе - бетатроне Б-25. Составлена калибровочная таблица для проходной и абсолютной камер ускорителя и получено значение экспозиционной дозы за время эксперимента.

Ключевые слова: бетатрон, проходная и абсолютная камеры, тормозное излучение, калибровка, интенсивность, доза облучения.

PACS_29.17.+w

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.42.196-201

I.I. Haysak, V.O. Martyshychkin, R.M. Plekan, O.G. Okunev,
M.T. Sabolchiy

Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54

MEASUREMENT OF THE ABSOLUTE VALUE OF EXPOSURE DOSE ON THE BETATRON B-25

Radiobiological research, treatment of malignant tumors, acceleration of chemical processes, study of radiation defects, metal defectoscopy are some main problems requiring radiation exposure. In this regard, the primary task for accelerators of charged particles is to determine the dose of radiation. Among the many types of charged particle accelerators for scientific and practical purposes, an induction electronic accelerator plays a special role. In betatron, an electric field is used to accelerate electrons in a circular orbit, the intensity of which is replaced by a magnetic flux.

This article proposes one of the methods for measuring the exposure dose during operation of betatron B-25. In order to control the beam of bremsstrahlung, a passage ionization chamber, an absolute ionization chamber, two ball cameras of the clinical dosimeter RTF27012 are used in the experiment. The passage camera's values are proportional to the exposure dose, and the ball camera's values are proportional to the intensity of the electron beam. The ball cameras are independently calibrated with standard reference sources of beta particles and gamma quanta (complete of clinical dosimeter). A table of calibration of particles passing through the passage chamber and an absolute accelerator chamber is created. The value of the exposure dose in the experiment is obtained.

Keywords: betatron, passage chamber, absolute chamber, target, calibration, intensity, x-ray, dose.

REFERENCES

1. Gurin, A.G., Lozhkin, R.S. (2003), “Requirements for the parameters of linear induction accelerators used for water purification” [“Trebovaniya k parametram lineynykh induktsionnykh uskoriteley primenyayemykh dlya ochistki vody], Herald of Kharkov Polytechnic Institute [Vestnik Khar'kovskogo politekhnicheskogo instituta], No 4, pp. 83–86.
2. Moskalev, V.A., Chakhlov, V.L. (2009), Betatrons [Betatrony], Publ. by Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 267 p.
3. Komar, A.P., Kruglov, S.P., Lopatin I.V. (1971), Measurement of the total energy of bremsstrahlung beams from electron accelerators [Izmereniye polnoy energii puchkov tormoznogo izlucheniya ot elektronnykh uskoriteley], Nauka, Leningrad, p.172.
4. Khvastunov, M.S. (1981), “Cyclic induction accelerator” [Tsiklicheskiy induktsionnyy uskoritel’], Devices and experimental technique [Pribory i tekhnika eksperimenta], No 3, pp. 20–23.
5. Vakhrushin, Yu.P. (1978), Linear induction accelerators [Lineynyye induktsionnyye uskoriteli], Atomizdat, Moscow, 248 p.
6. Abramyan, V.A. (1986), Industrial electron accelerators [Promyshlennyye uskoriteli yelektronov], Energoatomizdat, Moscow 248 p.
7. Remez, G.A. (1960), Radio measurements [Radioizmereniya], Svyaz'izdat, Moscow, 316 p.
8. Rakobol'skaya, I.V. (1981), Nuclear physics [Yadernaya fizika], publ. by Moscow State University, Moscow, 296 p.
9. Bulavin, L.A., Tartakovs'ky, V.K. (2005), Nuclear physics [Yaderna fizyka], Znan-nya, Kyiv, 439 p.
10. Gopych, P.M., Zalyubovskiy I.I. (1980), Nuclear Spectroscopy [Yadernaya spektroskopyya], Vyshcha shkola, Kharkiv, 384 p.
11. Gusev, N.G. (1989), Protection against ionizing radiation [Zashchyta ot yonyzyruyushchykh yzluchenyuy], Energoatomizdat, Moscow, 512 p.

© Ужгородський національний університет