

PACS: 78.60. Y; 07.57. K; 29.40; 33.50
УДК 621.37

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА СЕЛЕКТИВНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО ВІЯВЛЕННЯ ДЖЕРЕЛ α -ВИПОМІНЮВАННЯ

С. М. Бащенко

Інститут фізики Національної Академії Наук України,
проспект Науки 46, Київ, Україна, 03039. тел.: 044 525 14 82,
E-mail: baschenk@iop.kiev.ua

Анотація

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА СЕЛЕКТИВНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО ВІЯВЛЕННЯ ДЖЕРЕЛ α -ВИПОМІНЮВАННЯ

С. М. Бащенко

В роботі проаналізовано фізичні засади створення та представлені результати розробки та випробування макету оптико-електронної прийомної системи, яка дала можливість в затемненому приміщенні селективно виявити джерело альфа-випромінювання активністю 1 мКі, розташоване поруч з джерелом гама-випромінювання активністю 5 мКі, з відстані до 10 метрів. Час реєстрації джерела альфа-випромінювання становив секунди. В роботі пропонується і спосіб вдосконалення такої системи, який забезпечить додаткову можливість візуалізації джерел альфа-випромінювання.

Ключові слова: альфа-випромінювання, радіолумінесценція, дистанційне виявлення.

Abstract

OPTICO-ELECTRONIC SYSTEM FOR ALPHA-PARTICLE SOURCES SELECTIVE REMOTE SENSING

S. M. Baschenko

The physical basis for creation of optico-electronic system for selective remote sensing of alpha-particle sources is considered. The result of this system design and testing is presented. The system was proven to be able to detect an alpha-particle source (1 mKi) from a distance of 10 m in the presence of a gamma-source (5 mKi) and in dark room. Detecting time is a few seconds. The method for system improving intended to alpha-sources visualization has also been explored.

Keywords: alpha-irradiation, radioluminescence, remote sensing.

Аннотация

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА СЕЛЕКТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО
ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЯ

С. Н. Бащенко

В работе проанализированы физические основы создания и представлены результаты разработки и испытаний макета оптико-электронной системы, который продемонстрировал возможность в затемненном помещении обнаружить источник альфа-излучения активностью 1 мКи, расположенный рядом с источником гамма-излучения активностью 5 мКи, с расстояния 10 метров. Время регистрации источника альфа-излучения составило единицы секунд. В работе также предлагается способ усовершенствования такой системы, который обеспечит дополнительную возможность визуализации источников альфа-излучения.

Ключевые слова: альфа-излучение, радиолюминесценция, дистанционное детектирование.

Вступ

Використання та зберігання джерел іонізуючого випромінювання (ІВ) вимагають не тільки вдосконалення методів поводження з ними, а й розробки приладів та систем виявлення та вимірювання ІВ.

Переважає більшість існуючих приладів радіоконтролю є приладами прямої контактної дії: тобто частка або квант відповідного ІВ потрапляють та взаємодіють з чутливим елементом — сенсором прилада. Результат цієї взаємодії (головним чином іонізація) і вимірюється. Завдяки величезним енергіям α -, β -часток чи γ -квантів (10^4 - 10^6 eВ) контактні прилади здатні їх зареєструвати навіть поодиночно.

Але прямі контактні методи і прилади, створені на їх основі, мають одне принципове обмеження: вони можуть реєструвати джерела ІВ виключно в межах розповсюдження вилітаючих з них часток або квантів — так званої довжини вільного пробігу (ДВП) відповідної частки або кванту ІВ. Варто відзначити, що ДВП оберненопропорційна питомим втратам енергії частки або кванта. Наприклад, у повітрі альфа-частки, бета-частки чи гама-кванти мають (при однакових енергіях порядку кількох МеВ) ДВП порядку сантиметрів, метрів і сотень метрів, відповідно [1].

З другого боку біологічна небезпечність різних видів ІВ прямопропорційна саме питомим втратам енергії частки або кванта ІВ, тому що саме ці втрати і визначають негативний вплив ІВ на біологічну тканину. Тому біо-

логічна небезпечність різних видів ІВ зростає в ряду γ — β — α ІВ.

Ситуація, обумовлена двома вищенаведеними обставинами, спонукає до пошуку нових методів і приладів, особливо дистанційних, придатних для пошуку джерел α -випромінювання.

Особливо слід виділити практично нерозв'язану проблему селективної реєстрації джерел α -випромінювання, як найбільш біологічно небезпечних, на фоні джерел γ - та/чи β -випромінювання. Саме така нагальна потреба неминує виникає у аварійних випадках. Наприклад, в реакторному залі Чорнобильської АЕС перемішано відпрацьоване паливо та елементи конструкцій (переважно γ -активні) із невідпрацьованим (α -активним) паливом. Саме його, як найбільш небезпечне, необхідно в першу чергу виявити, відокремити і захвати відповідним чином.

В даній роботі продемонстрована можливість селективної реєстрації джерел α -випромінювання, оснований на аналізі вторинних явищ, які супроводжують процес розповсюдження ІВ в середовищі, зокрема, явищі радіолюмінесценції [2]. Явище радіолюмінесценції полягає в тому, що після прольоту частки чи кванта ІВ частково іонізоване середовище релаксує, в тому числі і через радіолюмінесцентне випромінювання. І хоча це оптичне випромінювання дуже слабке (квантовий вихід 10^{-5} - 10^{-6} [3]), в принципі, воно піддається реєстрації, до того ж з відстаней, які на порядки перевищують ДВП α -часток.

При цьому важливим є наступне. Оскільки явище радіюлюмінесценції атмосфери відбувається в межах сфери з радіусом не більшим ДВП, то і яскравості відповідного радіюлюмінесцентного випромінювання, зумовленого дією α -, β - чи γ -випромінювання мають співвідноситися пропорційно третьому ступеню відповідних їм ДВП, тобто: $1:10^{-6}:10^{-10}$!.

Остання обставина і може забезпечити можливість селективної реєстрації та детектування джерел α -випромінювання, які спричиняють найбільш яскраву радіюлюмінесценцію

атмосфери, в присутності джерел інших типів ІВ, які спричиняють на багато порядків менш яскраву радіюлюмінесценцію.

Експериментальна частина

На Рис.1 зображено схему розробленої оптико-електронної прийомної системи для задач селективного дистанційного виявлення джерел α -випромінювання. Вона побудована з урахуванням умов, при яких велись експериментальні дослідження.

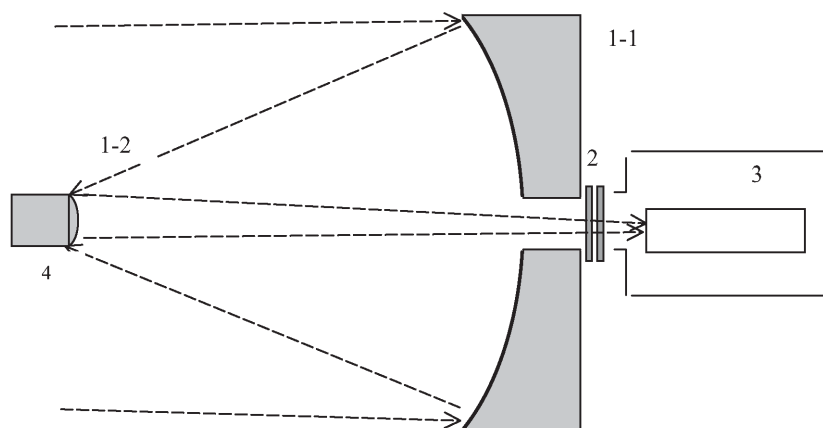


Рисунок 1. Схема макета прийомної оптико-електронної системи: 1 — двозеркальний об'єктив, діаметр головного дзеркала 200 мм, довжина фокусу головного дзеркала — 600 мм; 2 — спектральний селектор; 3 — фотоприймач ФЕУ-106, розміщений в камері, що охолоджується; 4 — захисний металевий циліндр.

Експеримент проводився наступним чином. Послідовно на фіксованих відстанях $L = 5, 7$ та 10 метрів від прийомної системи вздовж оптичної осі вимірювального комплексу встановлювалися поруч два зразки джерел ІВ: α -випромінювання ($\text{Pu}239$) з активністю 1 мКі та γ -випромінювання ($\text{Co}60$) з активністю 5 мКі (відповідно до паспортів). Джерела мали приблизно однакові геометричні розміри ($\sim \text{см}^2$) і встановлювалися активною поверхнею перпендикулярно оптичній осі прийомної системи. Кожне джерело могло закриватися від прийомної системи непрозорим екраном. Експеримент проводився в повністю затемненому приміщенні.

Двохдзеркальний об'єктив 1 збирав частину потоку оптичного випромінювання (радіюлюмінесценції) N і направляв її через спектральний селектор 2 на фотоприймач 3. Величина N вираховується з простих геометричних міркувань по співвідношенню відстані між джерелом і приймачем L та площею головного дзеркала об'єктива ($s = 0,03 \text{ м.кв}$). В наших експериментах вона становить величину від 4×10^{-4}

для відстані $L=5$ метрів до 9×10^{-5} для відстані $L=10$ метрів. Спектральний селектор пропускає лише випромінювання з довжинами хвиль, які відповідають чотирьом найпотужнішим лініям радіюлюмінесценції атмосфери в видимому та УФ діапазоні [4-7], і які відносяться до так званої другої позитивної системи переходів молекули азоту — $316, 337, 358$ та 380 нм [8]. Пропускання спектрального селектора T на цих довжинах хвиль становить близько $0,5$, а за межами цих довжин хвиль $T=0,005$. Розташований за меншим дзеркалом товстий металевий захисний циліндр 4 убезпечував фотоприймач від прямого попадання на нього γ -випромінювання. Після спектральної селекції оптичне випромінювання попадало на фотоприймач — ФЕУ-106. Катод ФЕУ охолоджувався до мінус 20 С , що убезпечувало можливість його роботи в режимі ліку фотонів, а висока напруга ($1600-1700 \text{ в}$) підбиралася таким чином, щоб робочий режим ФЕУ відповідав саме “плато” лікової характеристики [9]. Інтенсивність “темнових” імпульсів при виконанні

цих умов становила величину 250-300 імпульсів/сек. Після підсилення та формування “одноелектронних” імпульсів останні адресувалися на плату ліку імпульсів і в режимі реального часу їх інтенсивність (кількість в одиницю часу) відтворювалася на екрані монітора.

Основні результати

На Рис.2 наведено часові залежності інтенсивності одноелектронних імпульсів в залежності від відстані L , на якій розташовувалися джерела ІВ.

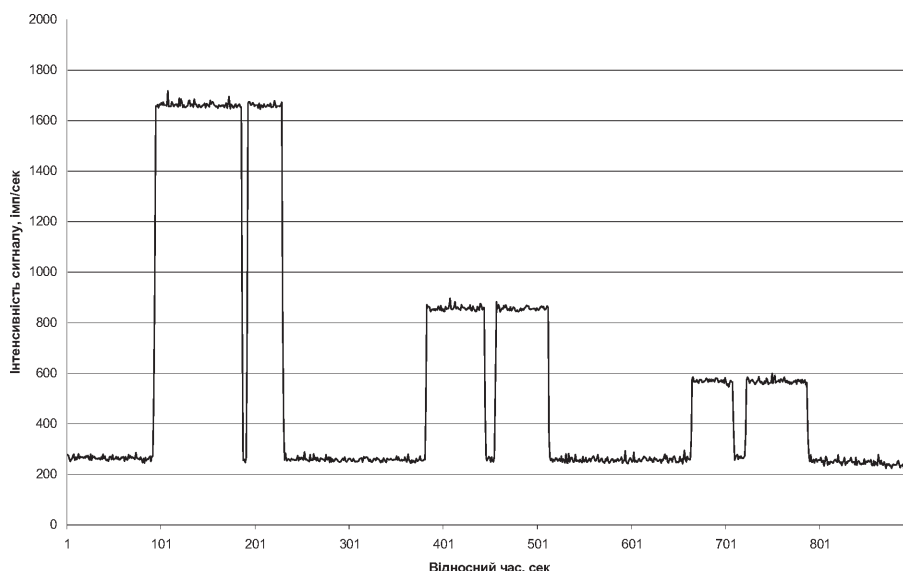


Рисунок 2. Інтенсивність одноелектронних імпульсів в часі при різних відстанях від прийомної системи до джерел альфа- та гама-випромінювання: 1-94 сек — обидва джерела ІВ закриті; 94-229 сек, 383-512 сек та 665-783 сек — джерело альфа-випромінювання відкрите і знаходиться на відстані 5, 7 та 10 метрів, відповідно; 187-192 сек, 445-457 сек та 708-723 сек — короткочасне перекриття джерела альфа-випромінювання. Джерело гама-випромінювання відкривалося-закривалося при різних положеннях джерела альфа-випромінювання по кілька разів.

Як видно з рисунка, на відстанях $L=5, 7$ та 10 метрів корисний сигнал, обумовлений радіолюмінесценцією атмосфери довкола джерела α -випромінювання, становив величини 1400-1500, 600-700 та близько 300-350 імпульсів/сек, відповідно, що значно перевищує інтенсивність “темних” імпульсів. Ці значення досягаються практично миттєво і визначаються лише часовим періодом ліку імпульсів, який може змінюватися в залежності від умов експерименту. Для представленої випадку він становив 1 сек.

Почергове відкривання-закривання джерела γ -випромінювання не змінювало інтенсивність імпульсів, викликаних джерелом α -випромінювання.

Враховуючи геометрію експерименту, квантову ефективність фотокатода на довжинах хвиль 350 нм рівну приблизно 0,1 та величину пропускання спектрального селектора $t=0,5$ оцінено потужність альфа-радіолюмінесценції атмосфери при стандартних умовах від джерела α -часток активністю 1 МКі. Вона відповідає

приблизно 5×10^7 оптичних фотонів/сек в діапазоні довжин хвиль 300-400 нм.

Висновки

Розроблена оптико-електронна система продемонструвала здатність реєструвати джерело α -випромінювання з відстаней L , що на порядки перевищують ДВП α -часток у повітрі і до того ж в присутності (чи) на фоні більш активного джерела гама-випромінювання. Оскільки активність гама-джерела була у 5 разів вища, але навіть на мінімальній відстані $L=5$ м від нього не було зареєстровано оптичного сигналу, підтверджено припущення про велику різницю в яскравостях α - та γ -радіолюмінесценцій і зроблено висновок про високу селективність створеної системи щодо виявлення джерел α -випромінювання. По величині відношення активностей джерел α - та γ -випромінювання вона становить як мінімум 2 порядки.

Очевидно, що одночасно з виведенням інформації на будь-який дисплей, або і замість

цього можна формувати пороговий звуковий сигнал, який сповіщатиме про попадання в поле зору системи джерел α -випромінювання.

Видається обгрунтованим припущення, що заміна ФЕУ фотодіодною матрицею з високою квантовою ефективністю, в запропонованому схемо-технічному варіанті дозволить не тільки вести пошук та дистанційно і селективно виявляти джерела α -випромінювання в повністю затемнених приміщеннях, але й безпосередньо їх візуалізувати, що є важливою практичною задачею.

Очевидно, що для практичного використання такої системи необхідна як орієнтація в повністю затемненому приміщенні, так і можливість суміщення, накладення зображень α -джерел та оточення. Для цього можна використати освіщення приміщення короткими імпульсами “червоного” світлодіода, поєднане з будь-яким “закриттям” фотоприймача на цей період (оптичний модулятор перед фотокатодом, подача запираючої напруги на модулятор феу і т.ін.).

Література

1. Кимель Л.Р., Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. — М.: Атомиздат. 1966. — 276 с.
2. Твердохлебов Е. И., Чечевичкин В. Н. и Карклит Л. В. // ПТЭ. — 1990. — №5. — С.23-30.
3. Ильяшенко В. С., Миськевич А. И. и Саламаха Б. С.// ПТЭ. — 1978. — №6. — С.225-227.
4. Жемерев А. В. и Степанов Б. М., Физика импульсного радиационного возбуждения свечения воздуха. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 187 с.
5. Thiess P. E. and Miley G. H. // IEEE Trans. On Nuclear Science. — 1974. — №S-21. — P.125-145.
6. Пшежецький С. Я. та Дмитрієв М. Т., Радіаційні фізичні та хімічні процеси в повітряному середовищі. — М.: Атомвидав, 1978. — 264 с.
7. Baschenko S.M. Remote optical detection of alpha-particle sources // Journ. Rad. Prot. — 2004. — №24. — P.75-82.
8. Herzberg G. Spectra of Diatomic Molecules. — Princeton, NJ. — 1950. — 248 p.
9. Берковский А.Г., Гаванин В.А., Зайдель Н.Н. Вакуумные фотоэлектронные приборы. — М.: Энергия, 1976. — 344 с.