

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем
Кафедра медичної радіофізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан факультету

_____ Андрій НЕТРЕБА

« ____ » _____ 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Медична електроніка

для студентів

галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
рівень вищої освіти	другий
освітня програма	Біомедична фізика, інженерія та інформатика
вид дисципліни	вибіркова

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2023/2024
Семестр	2
Кількість кредитів ECTS	5
Мова викладання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладачі:

Радченко Сергій Петрович, кандидат фіз.-мат. наук, доцент, завідувач кафедри медичної радіофізики;

Іванісік Анатолій Іванович, доктор фіз.-мат. наук, доцент, професор кафедри медичної радіофізики.

Пролонговано на

20__/20__ н. р. _____ (_____) « ____ » _____ 20__ р.

20__/20__ н. р. _____ (_____) « ____ » _____ 20__ р.

Розробники:

Радченко Сергій Петрович, кандидат фіз.-мат. наук, доцент, завідувач кафедри медичної радіофізики;

Іванісік Анатолій Іванович, доктор фіз.-мат. наук, доцент, професор кафедри медичної радіофізики.

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Завідувач кафедри медичної радіофізики

_____ Сергій РАДЧЕНКО

Протокол № __ від « ____ » _____ 2023 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Протокол № __ від « ____ » _____ 2023 р.

Голова науково-методичної комісії

Сергій РАДЧЕНКО

« ____ » _____ 2023 року.

Вступ

Дисципліна «Медична електроніка» є вибірковою дисципліною освітньо-наукової програми «Біомедична фізика, інженерія та інформатика» на здобуття освітнього ступеню магістра зі спеціальності 105 - «Прикладна фізика та наноматеріали» в галузі знань 10 - «Природничі науки».

Викладається у 2 семестрі для студентів 1-го курсу в обсязі 5 кредитів.

Розподіл годин: загалом - 150 г., лекції - 42 г, практичні - 6 г., самостійна робота - 101 г., консультації - 1 г.

Підсумкове оцінювання: екзамен.

1. Мета дисципліни

Набуття знання що до вивчення електричних явищ і процесів, пов'язаних зі зміною концентрації та переміщенням заряджених частинок в організмі людини, та використанням електроніки, її прийомів, методів і приладів для вирішення медичних проблем діагностики та лікування. Головним завданням є навчити студентів методам реєстрації і аналізу електричних, магнітних та електромагнітних біосигналів, використовувати лазери та рентгенівські джерела випромінювання.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна «Медична електроніка» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» і спирається на знання, отримані в курсах на початкових загальноосвітніх курсах освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»: «Загальна фізика», «Математичний аналіз», «Аналітична геометрія та лінійна алгебра», «Диференціальні рівняння», «Електродинаміка», «Квантова механіка», «Квантова та напівпровідникова електроніка». Студент має вміти працювати з англійською науковою літературою та аналітично аналізувати результати отриманої інформації.

3. Анотація навчальної дисципліни

Дисципліна «Медична електроніка» є пріоритетним сучасним напрямком розвитку електроніки та технологій, пов'язаним з діагностикою та лікуванням захворювань. Враховуючи широке коло важливих питань, заплановано розглянути: біоелектромагнітометрія - рівень сигналів, біофізичні основи; кардіографія - кардіографічні відведення та додаткові методи досліджень, пояснення форми та елементів кардіографічного сигналу; електроенцефалографія - параметри сигналів, режими вимірювань та методики; електроміографія - нативна, спонтанна, стимуляційна; оптичні безконтактні методи вимірювання температури в медицині - тепловізори та радіотермометри; напівпровідникові лазери - принципи роботи та напрямки використання в медицині; джерела рентгенівського випромінювання - фізичні принципи роботи та їх характеристики; детектори рентгенівського випромінювання - сцинтиляційні детектори та їх чутливість.

4. Завдання навчальної дисципліни (навчальні цілі)

Студент повинен знати:

- біоелектромагнітометрія: рівень сигналів, біофізичні основи;
- кардіографія: кардіографічні відведення та додаткові методи досліджень, пояснення форми та елементів кардіографічного сигналу;

- електроенцефалографія: параметри сигналів, режими вимірювань та методики;
- електроміографія: нативна, спонтанна, стимуляційна;
- оптичні безконтактні методи вимірювання температури в медицині: тепловізори та радіотермометри;
- електростимулятори та фізіотерапевтичні методи: кардіостимулятори, дефібрилятори, міостимулятори, транскранальні електростимулятори, гальванізація, електрофорез, дарсонвалізація, УВЧ-терапія, франклінізація, мікрохвильова терапія, світлолікування, магнітотерапія;
- напівпровідникові та інші лазери: принципи роботи та напрямки використання в медицині, методи підведення оптичного випромінювання до об'єкту (лінзи, дзеркала, оптичні волокна);
- джерела рентгенівського випромінювання: фізичні принципи роботи та їх характеристики;
- детектори іонізуючого випромінювання, електронні системи реєстрації іонізуючого випромінювання, сцинтиляційні детектори;
- сцинтилятори, механізми сцинтиляційного процесу, особливості перебігу процесів в об'ємних кристалах та при появі просторових обмежень, процеси релаксації електронних збуджень;
- наскрізні характеристики та особливості будови сучасних сцинтиляційних детекторів.

Студент повинен вміти:

Оцінювати вимоги до електронних пристроїв медичного призначення, давати рекомендації до методів біоелектромагнітометрії, лазерної терапії. Використовувати лазери медичного призначення, детектори іонізуючого випромінювання та випромінювання оптичного діапазону. Розраховувати наскрізні характеристики сцинтиляційних детекторів, обирати детектори іонізуючого випромінювання відповідно до задач реєстрації медичної інтроскопії, знаходити, розуміти та аналізувати новітні тенденції розвитку детекторів іонізуючого випромінювання для розв'язання прикладних задач в галузі сучасної медичної фізики.

Дисципліна спрямована на формування програмних компетентностей:

- ЗК 8. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК 12. Навички міжособистісної взаємодії.
- ФК 4. Здатність брати участь у виготовленні зразків матеріалів та об'єктів дослідження.
- ФК 7. Здатність брати участь в роботі колективів виконавців, у тому числі у міждисциплінарних проектах.
- ФК 15. Здатність відслідковувати та аналізувати перспективність напрямів розвитку медичної фізики, здобувати додаткові компетентності для підвищення власної конкурентноздатності на ринку праці в галузі біомедичних наукових досліджень і в галузі сучасних прикладних задач медичної фізики.
- ПРН 7. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і побудови наукоємних технологій.

- ПРН 11. Розробляти фізичні основи створення нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів, речовини, технологій.
- ПРН 14. Використовувати сучасні методи і технології наукової комунікації українською та іноземними мовами.
- ПРН 16. Обирати моделі та методи моделювання явища та процесів в динамічних системах, зокрема в біомедичних об'єктах, аналізувати отримані результати, робити висновки та застосовувати їх як для досягнення цілей дослідження біологічних об'єктів, так і для задач створення новітніх приладів (ефективної безпечної експлуатації існуючих приладів) медичної діагностики та терапії.
- ПРН 19. Розв'язувати складні наукові, дослідницькі та інженерно-технічні задачі в області прикладної фізики та фізики наноматеріалів, медичної фізики, які вимагають поглиблених знань у галузі фізики, математики, інформаційних технологій.

5. Результати навчання

Вивчення дисципліни «Медична електроніка» надасть знання основ та принципів функціонування електронних приладів, що дозволить студентам у подальшій професійній роботі самостійно вивчати фахову наукову літературу, опановувати нові методики роботи з медичними електронними системами, розробку та експериментальне використання медичних електронних пристроїв та приладів для профілактики, діагностики та лікування людини.

Результат навчання		Викладання, навчання і оцінювання		
Код	Зміст	Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
1	знати:			40
1.1	Місце і роль медичних електронних приладів та пристроїв для забезпечення для профілактики, діагностики та лікування людини: збирання, підсилення, реєстрація, індикація, відображення та аналіз медичної інформації; формування лікарського впливу на людину; керування деякими функціями людського організму; заміни функцій окремих органів і систем людини; електронних систем моделювання процесів діяльності деяких систем і органів людини та біоелектричного керування ними.	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	2
1.2	Електронні системи реєстрації іонізуючого випромінювання. Сучасні сцинтиляційні детектори. Класифікація сцинтиляторів.	лекції, практичні, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи, виконання практичних завдань	2

Результат навчання		Викладання, навчання і оцінювання		
Код	Зміст	Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
1.3	Явище сцинтиляції, сцинтиляційний процес, електронні механізми сцинтиляційного процесу.	лекції, практичні, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи, виконання практичних завдань	4
1.4	Взаємодія іонізуючого випромінювання з сцинтиляторами.	лекції, практичні, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи, виконання практичних завдань	4
1.5	Характеристики сцинтиляторів.	лекції, практичні, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи, виконання практичних завдань	4
1.6	Характеристики та будова сучасних сцинтиляційних детекторів.	лекції, практичні, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи, виконання практичних завдань	4
1.7	Біоелектромагнітометрія: рівень сигналів, біофізичні основи.	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	3
1.8	Кардіографія: кардіографічні відведення та додаткові методи досліджень, пояснення форми та елементів кардіографічного сигналу.	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	3
1.9	Електроенцефалографія, електроміографія, електроретинографія, окулографія.	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	3
1.10	Безконтактні методи вимірювання температури: тапловізіографія, радіотермометрія.	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	3
1.11	Кардіо-, міо-, нейро-, транскринальні електростимулятори.	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	2
1.12	Фізіотерапевтична дія електричного струму, електромагнітних полів та хвиль.	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	3
1.13	Оптичні методи та засоби контролю в медицині. Оглядові й операційні ендоскопи.	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	3
1.14	Використання лазерів у медицині	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	3
2	вміти:			40
2.1	Опанувувати та знаходити матеріали за вказаною тематикою.	лекції, практичні, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи, виконання практичних завдань	4

Результат навчання		Викладання, навчання і оцінювання		
Код	Зміст	Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
2.2	Визначати характеристики сцинтиляторів (енергетична роздільна здатність, світлова чутливість і спектральний відгук, лінійність, однорідність, стабільність, шуми сцинтиляторів).	лекції, практичні, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи, виконання практичних завдань	8
2.3	Оцінити вплив характеристик сцинтиляторів на наскрізні характеристики сцинтиляційних детекторів.	лекції, практичні, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи, виконання практичних завдань	8
2.4	Знаходити та опанувати новітню інформацію стосовно біоелектромагнітометричних досліджень.	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	7
2.5	Аналізувати результати біоелектромагнітометричних досліджень	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	7
2.6	Досліджувати вплив джерел електромагнітного випромінювання	лекції, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи	6
3	комунікація			10
3.1	Розподіляти акценти при пошуку матеріалів для виконання завдання самостійна робота та підготовки до практичних занять.	практичні, самостійна робота	оцінювання результатів самостійної роботи, виконання практичних завдань	10
4	автономність та відповідальність			10
4.1	Оптимально планувати роботу при самостійному вивченні матеріалу, підготовці до практичних.	практичні, самостійна робота	Оцінювання доповіді та обговорення виконання практичних завдань	10

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання	Код																		
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	3.1	4.1	
Програмні результати навчання ОП																			
ПРН 7. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і побудови наукоємних технологій.	+	+	+	+						+							+	+	
ПРН 11. Розробляти фізичні основи створення нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів, речовини, технологій.		+	+	+	+					+	+	+					+	+	

Результати навчання	Код																	
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	3.1	4.1
Програмні результати навчання ОП																		
ПРН 16. Обирати моделі та методи моделювання явища та процесів в динамічних системах, зокрема в біомедичних об'єктах, аналізувати отримані результати, робити висновки та застосовувати їх як для досягнення цілей дослідження біологічних об'єктів, так і для задач створення новітніх приладів (ефективної безпечної експлуатації існуючих приладів) медичної діагностики та терапії.			+	+	+	+				+	+						+	+
ПРН 19. Розв'язувати складні наукові, дослідницькі та інженерно-технічні задачі в області прикладної фізики та фізики наноматеріалів, медичної фізики, які вимагають поглиблених знань у галузі фізики, математики, інформаційних технологій.	+	+	+	+	+	+				+	+	+					+	+

7. Схема формування оцінки

7.1. Форми оцінювання:

- **Семестрове оцінювання.** Передбачено оцінювання результатів: розв'язання домашніх завдань (в межах самостійної роботи, як відповідей на додаткові завдання лекційної частини); підготовки до практичних робіт, оформлення, аналіз та представлення результатів виконання; модульних контрольних робіт. Умови допуску до екзамену: виконання студентом всіх запланованих практичних завдань та студент повинен набрати під час семестру не менше ніж 30 балів.
- **Письмові контрольні роботи.** У курсі дві письмові модульні контрольні роботи, які проводяться після завершення відповідного блока лекцій.
- **Контроль самостійної роботи студентів.** виконується під час проведення модульних контрольних робіт за допомогою включенням у перелік завдань питань відповідно до тематики СРС, під час перевірки відповідей на додаткові завдання у лекційній частині, домашні завдання.
- **Підсумкове оцінювання.** Проводиться у форма письмового іспиту. Максимальна оцінка при правильному виконанні всіх завдань – 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, при цьому частина, отримана за результатами навчання 2 [вміння] і 4 [автономність та відповідальність] не може бути меншою ніж 50% загальної оцінки. У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання здійснюються у відповідності до «Положення про порядок

оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу» (nmc.univ.kiev.ua/docs/POLOJENNIA-2010-1.doc).

7.2. Організація оцінювання

Графік оцінювання.

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Модульна контрольна робота 1	Березень
Модульна контрольна робота 2	Травень
Іспит	Червень

Розподіл балів.

Контроль (балів)		
поточний		підсумковий
Модульна контрольна робота		Іспит
№1	№2	
15 (максимум)	15 (максимум)	40 (максимум)

7.3. Шкала відповідності оцінок

Підсумковий контроль: Письмові відповіді при складанні екзамену із обов'язковою співбесідою – 40 балів. Білет іспиту містить 4 питання, з яких три теоретичних завдання по 8 балів кожне, одне практичне завдання 16 балів.

Критерії оцінювання та максимальний бал.

Характеристика роботи (теоретичне/практичне завдання)	Оцінка, бали
Повна правильна відповідь	8/16
Частково повна відповідь (правильна відповідь з кількома помилками)	6/12
Відповідь з помилками (неповна відповідь, значна кількість помилок)	4/8
Відповідь з суттєвими помилками (але містить правильні елементи)	3/6
Відповідь не зараховано (робота не містить правильної відповідь)	0/0

Відповідність шкали оцінювання.

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Maks, %
Відмінно / Excellent	90-100%
Добре / Good	75-89%
Задовільно / Satisfactory	60-74%
Незадовільно / Fail	0-59%

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

№	Назва	Кількість годин		
		Лекції	Прак-тичні	Сам. робота
Змістовий модуль №1				
1.	Класифікація сцинтиляторів, органічні та неорганічні сцинтилятори, неорганічні наночастинки як наповнювачі полістирольних матриць, особливості сцинтиляційного процесу в полімерних сцинтиляторах.	2	–	6
2.	Теорія фотолюмінесценції молекулярних систем. Явище сцинтиляції, сцинтиляційний процес, електронні механізми сцинтиляційного процесу, утворення електрон-діркових пар, збудження і емісія центрів люмінесценції.	2	2	8
3.	Взаємодія іонізуючого випромінювання з сцинтиляторами, фотоэффект, Комптон-ефект, утворення електрон-позитронних пар.	4	2	8
4.	Характеристики сцинтиляторів. Енергетична роздільна здатність, світлова чутливість і спектральний відгук, лінійність, однорідність, стабільність, шумові характеристики сцинтиляторів.	4	1	10
5.	Особливості будови сучасних сцинтиляційних детекторів. Характеристики сцинтиляційних детекторів з ФЕП. Наскрізнi характеристики сцинтиляційних детекторів.	2	1	10
Разом змістовий модуль №1		14	6	42
Змістовий модуль №2				
6.	Біоелектромагнітометрія: рівень сигналів, біофізичні основи.	7	–	8
7.	Кардіографія: кардіографічні відведення та додаткові методи досліджень, пояснення форми та елементів кардіографічного сигналу.	3	–	7
8.	Електроенцефалографія, електроміографія, електроретинографія, окулографія.	3	–	7
9.	Безконтактні методи вимірювання температури: тепловізіографія, радіотермометрія.	3	–	7
10.	Кардіо-, міо-, нейро-, транскринальні електростимулятори.	2	–	7
11.	Фізіотерапевтична дія електричного струму, електромагнітних полів та хвиль.	2	–	7
12.	Оптичні методи та засоби контролю в медицині. Оглядові й операційні ендоскопи.	4	–	8
13.	Принципи роботи та використання лазерів у медицині.	4	–	8
Разом змістовий модуль №2		28	–	59
ВСЬОГО		42	6	101

9. Самостійна робота студентів (СРС).

1. Методи виготовлення зразків сцинтиляторів.
2. Методики вимірювання характеристик сцинтиляторів, сцинтиляційних детекторів.

3. Методи роботи з лазерними джерелами.
4. Методики вимірювання характеристик лазерів

10. Рекомендована література.

Основні джерела:

1. L. Cerrito. Radiation and Detectors. Introduction to the Physics of Radiation and Detection Devices: Springer International Publishing, 2017, 210 p.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-53181-6> 01.09.2023.
2. Temperature Dependent Scintillation and Luminescence Characteristics of GdI₃:Ce³⁺ IEEE Transactions on Nuclear Science 55(3):1164 – 1169
DOI:10.1109/TNS.2007.908581
https://www.researchgate.net/publication/3151199_Temperature_Dependent_Scintillation_and_Luminescence_Characteristics_of_GdI_Ce 01.09.2023.
3. Takahashi et al. High-resolution CdTe detector and applications to imaging devices. 2001 IEEE Transactions on Nuclear Science 48(3): 287 – 291
DOI:10.1109/23.940067
https://www.researchgate.net/publication/3137345_High-resolution_CdTe_detector_and_applications_to_imaging_devices 01.09.2023.
4. Nikl M. Recent R&D Trends in Inorganic Single-Crystal Scintillator Materials for Radiation Detection / M. Nikl, A. Yoshikawa // Adv. Opt. Mater. – 2015. – Vol. 3. – P. 463.
5. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів: навч. посіб. / В. Г. Абакумов, З. Ю. Готра, С. М. Злепко та ін. - Вінниця: ВНТУ, 2011. - 352 с.
6. Експериментальна лазерна оптика: підручник / В. І. Григорук, А. І. Іванісік, П. А. Коротков. - Київ: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2007. - 383 с.
7. Principles of Medical Electronics and Biomedical Instrumentation / C. Raja Rao, Sujoy K. Guha. - Universities Press, 2001. - 268 p.

Додаткові джерела:

8. Keith Mathieson. Modelling Semiconductor Pixel Detectors, (2001). PhD thesis, University of Glasgow. <https://theses.gla.ac.uk/76094/1/13818891.pdf>.
9. Іванісік А. І., Коротков П. А. Сучасні фотоприймачі слабких оптичних сигналів: Навчальний підручник.– К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2003.– 133 с.

10.Словник термінів

Термін	Переклад	Пояснення (приклад)
Biomagnetometry	Біомагнітометрія	Use of electric, magnetic and electromagnetic signals.

Термін	Переклад	Пояснення (приклад)
Electron-hole pair	Електронно-діркова пара	Hole ¹ , in condensed-matter physics, is the lack of an electron at a position where one could exist in an atom or atomic lattice. In semiconductors, free charge carriers are electrons and electron holes (electron-hole pairs). Holes affect the electrical, optical, and thermal properties of the solid. Electrons and holes are created by the excitation of an electron from the valence band to the conduction band. Along with electrons, an electron-hole (often simply called a hole) play a critical role when semiconductors with different hole density are used to produce electronic and optical devices.
Luminescence	Люмінесценція	Luminescence is the emission of light due to transitions of electrons from molecular orbitals of higher energy to those of lower energy, usually the ground state or the lowest unoccupied molecular orbitals. Such transitions are referred to as relaxations.
Luminescence centre (center)	Центр люмінесценції	Luminescence center ² is a point-lattice defect in a crystal that exhibits luminescence. In crystals, luminescent centers may result from crystal defects – such as positive- and negative-ion vacancies or interstitial atoms and ions – or from activators, which are specially introduced atoms or ions. Luminescent centers that result from crystal defects are called host-crystal centers; those that result from activators are known as activator centers. The main characteristics of luminescent centers are their emission and absorption spectra.
Photomultiplier	Фотопомножувач (фотоелектронний помножувач або скорочено ФЕП)	Photomultiplier (photomultiplier tube or PMT for short) is a type of photoemissive detectors based on avalanche multiplication process. They are members of the class of vacuum tubes, more specifically vacuum phototubes. PMTs are extremely sensitive detectors of light in the ultraviolet, visible, and near-infrared ranges of the electromagnetic spectrum. These detectors multiply the current produced by incident light by as much as 100 million times or 160 dB), in multiple dynode stages, enabling (for example) individual photons to be detected ³ .

¹ Perkowitz, Sidney. "hole". Encyclopedia Britannica, 27 Oct. 2010, <https://www.britannica.com/science/hole-solid-state-physics>.

² McGraw-Hill Dictionary of Scientific & Technical Terms, 6E, Copyright © 2003 by The McGraw-Hill Companies, Inc. <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Luminescent+Center>

³ Wright, A.G., "The Photomultiplier Handbook", 616 pp, Oxford University Press, Oxford, England 2017.

Термін	Переклад	Пояснення (приклад)
Scintillation	Сцинтиляція	Scintillation is the physical process where a material emits ultraviolet or visible light under excitation from high energy photons such as X-rays or gamma rays or energetic particles such as electrons, alpha particles, neutrons, or ions.
Scintillation counter (scintillation detector)	Сцинтиляційний лічильник (детектор)	Scintillation detector consists of a material that will emit light when exposed to radiation and electronic registration system.
Scintillator	Сцинтилятор	A scintillator is a material that exhibits scintillation.