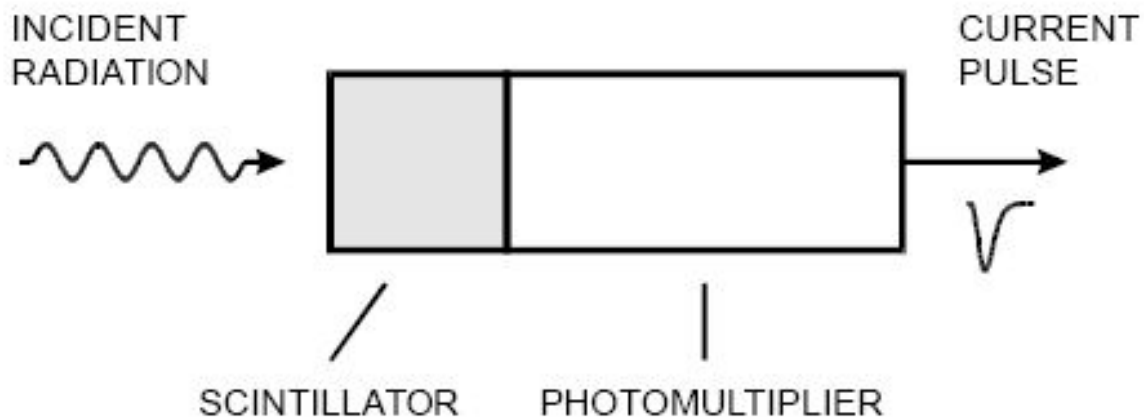


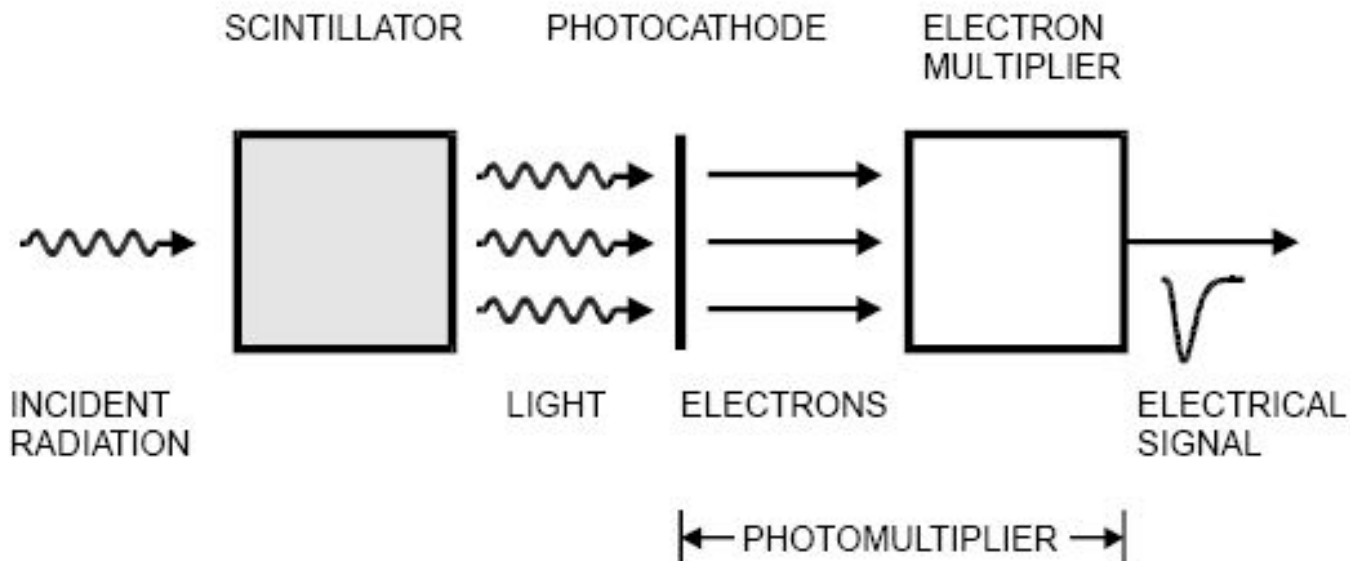
СЦИНТИЛЯЦІЙНІ ДЕТЕКТОРИ

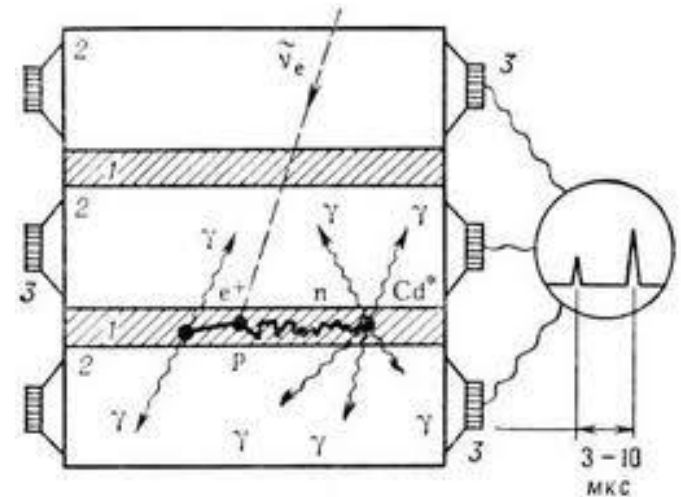
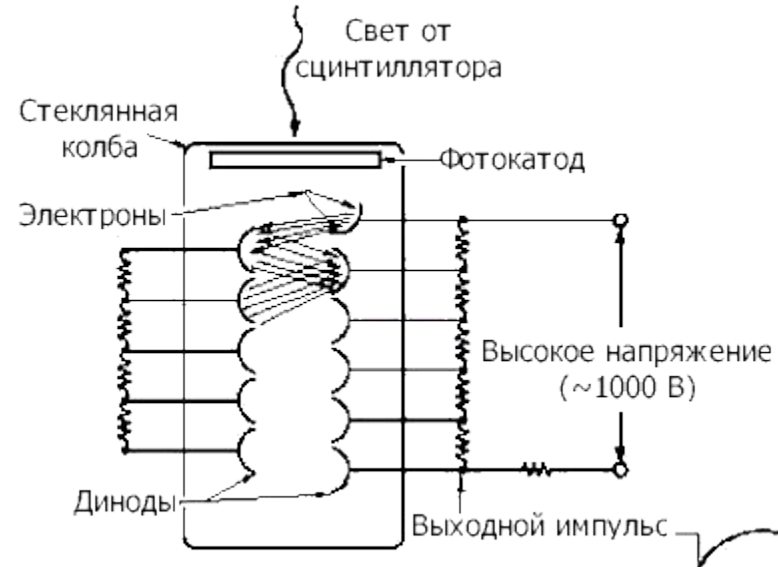
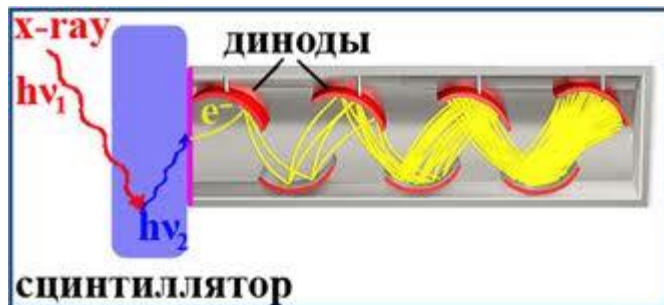
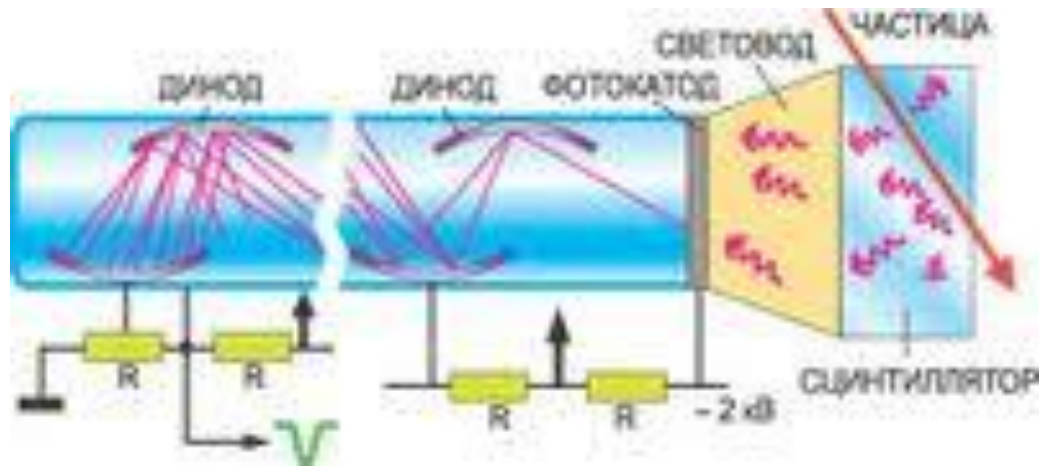
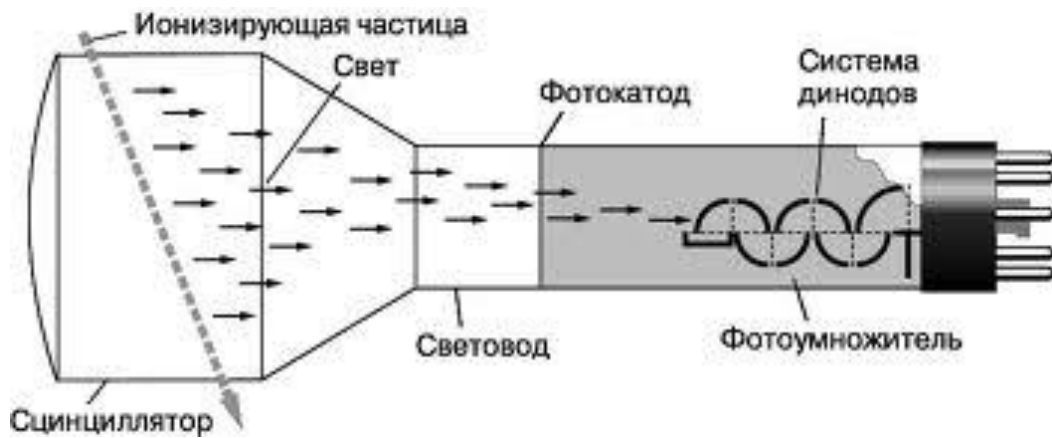
Сцинтиляційний метод базується на реєстрації коротких спалахів світла – **сцинтиляцій**, які виникають в деяких речовинах після проходження через них частинок іонізуючого випромінювання.

Якщо коротко, це можна пояснити так: іонізуюче випромінювання призводить до збудження атомів, молекул речовини, або центрів випромінювання (в колективних структурах типу кристалів) і далі йде випромінювання цих збуджених центрів, яке реєструється за допомогою фотоелектронних помножувачів.



Processes in Scintillator – Photomultiplier





МРІВ, Безшийко О.А.,
лекція 7

Прийнято виділяти сцинтилятори двох типів – органічні і неорганічні.

Органічні сцинтилятори

- відносно невеликі атомні номери (6-7)
- мала густина (біля 1-2 г/см²)
- малий час висвічування (порядку 10⁻⁹ с)

Органічні сцинтилятори

- органічні кристали (антрацен, толан, стильбен),
- рідкі сцинтилятори
- тверді розчини сцинтилюючих речовин в мономерних та полімерних (сцинтилюючі пластмаси).
- органічні гази.

Сцинтилятори на основі полімерів (полістиролу, полівінілтолуолу) з добавкою п-терфенілу і зміщувача спектру (для узгодження спектру висвічування сцинтилятора зі спектральною характеристикою фотокатода ФЕП) типу РОРОР дають короткий сцинтиляційний імпульс з часом наростання 0.2 - 0.6 нс і часом спадання близько 3 нс.

Якщо гасити більш інтенсивні, але повільні компоненти, можна досягати ширини імпульсу менше однієї наносекунди, при цьому світловихід сцинтилятора значно зменшується.

Органічні сцинтилятори

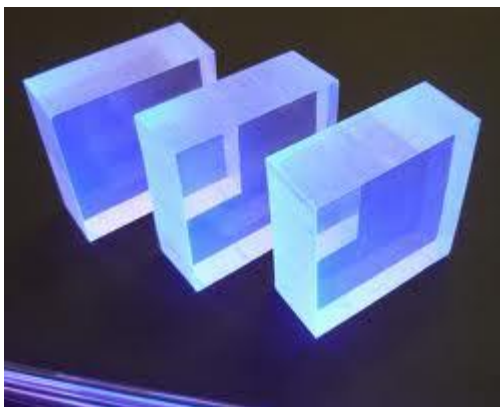
Сцинтилятор	Тип сцинтилятора	Густина ρ , г/см ³	$Z_{\text{эф}}$	τ , нс
Антрацен, C ₁₄ H ₁₀	кристал	1.25	5.8	30
Толан, C ₁₄ H ₁₀	кристал	1.18	5.8	7
Транс-стильбен (стильбен), C ₁₄ H ₁₂	кристал	1.16	6.7	4 - 8
p-терфеніл в ксилолі	рідкий сцинтилятор	0.9		2
NE102	рідкий сцинтилятор	1.51		2.6
NE104	пластик	1.03		1.8
тетрафенілбутадиен в полістеролі	пластик	1.0		5
p-терфеніл в полівінілтолуолі	пластик	1.0		3

Органічні сцинтилятори

В органічних кристалах світловихід залежить від орієнтації шляху важкої зарядженої частинки відносно осі кристалу.

Світловихід органічних сцинтиляторів складає 20 – 30 % в порівнянні із світловиходом неорганічного кристалу NaI(Tl).

Рідкі сцинтилятори найбільш дешеві із усіх типів сцинтиляторів, потім ідуть пластичні сцинтилятори.



МРІВ, Безшийко О.А.,
лекція 7



Неорганічні сцинтилятори

- відносно великі атомні номери
 - велика густина
 - відносно великий час висвічування
- висвічування



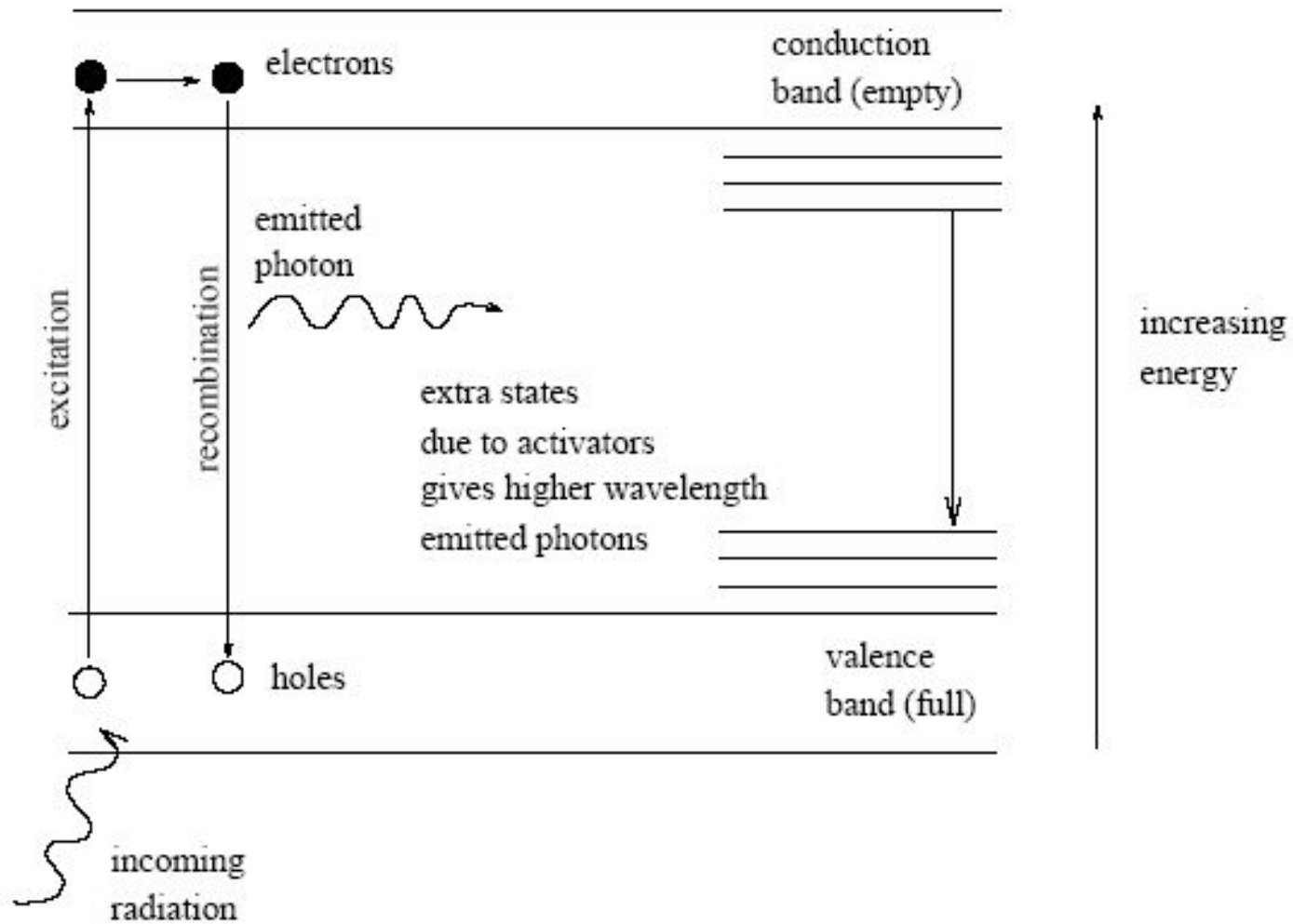
Неорганічні сцинтилятори

Material	Form	λ_{\max} (nm)	τ_f (ns)	ρ (g/cm ³)
NaI(Tl) (20°C)	crystal	415	230	3.67
pure NaI (-196°C)	crystal	303	60	3.67
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (20°C)	crystal	480	300	7.13
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (-100°C)	crystal	480	2000	7.13
CsI(Na)	crystal	420	630	4.51
CsI(Tl)	crystal	540	800	4.51
CsI (pure)	crystal	315	16	4.51
CsF	crystal	390	2	4.64
BaF ₂ (slow)	crystal	310	630	4.9
BaF ₂ (fast)	crystal	220	0.8	4.9
Gd ₂ SiO ₅ (Ce)	crystal	440	60	6.71
CdWO ₄	crystal	530	15000	7.9
CaWO ₄	crystal	430	6000	6.1
CeF ₃	crystal	340	27	6.16
PbWO ₄	crystal	460	2, 10, 38	8.2
Lu ₂ SiO ₅ (Ce)	crystal	420	40	7.4
YAlO ₃ (Ce)	crystal	390	31	5.35
Y ₂ SiO ₅ (Ce)	crystal	420	70	2.70

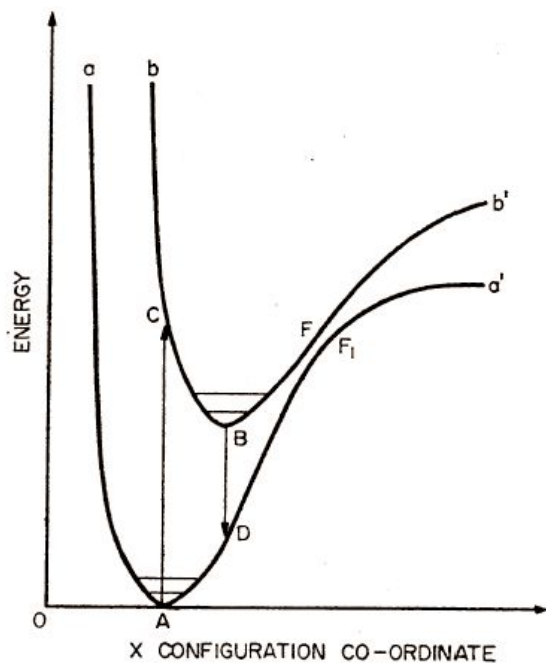
IV

лекція 7

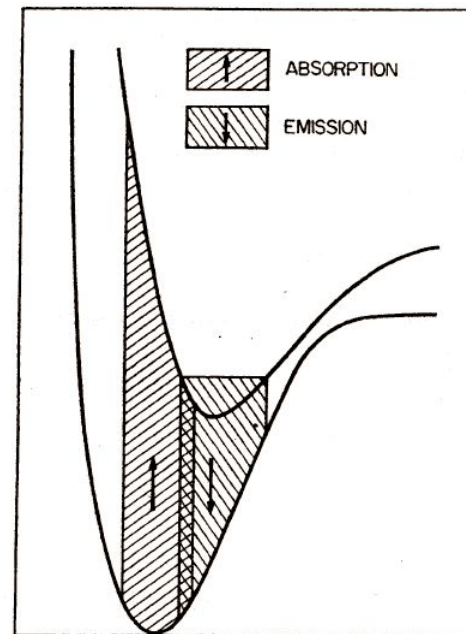
Механізм висвічування в неорганічних сцинтиляторах



Механізм висвічування в органічних сцинтиляторах

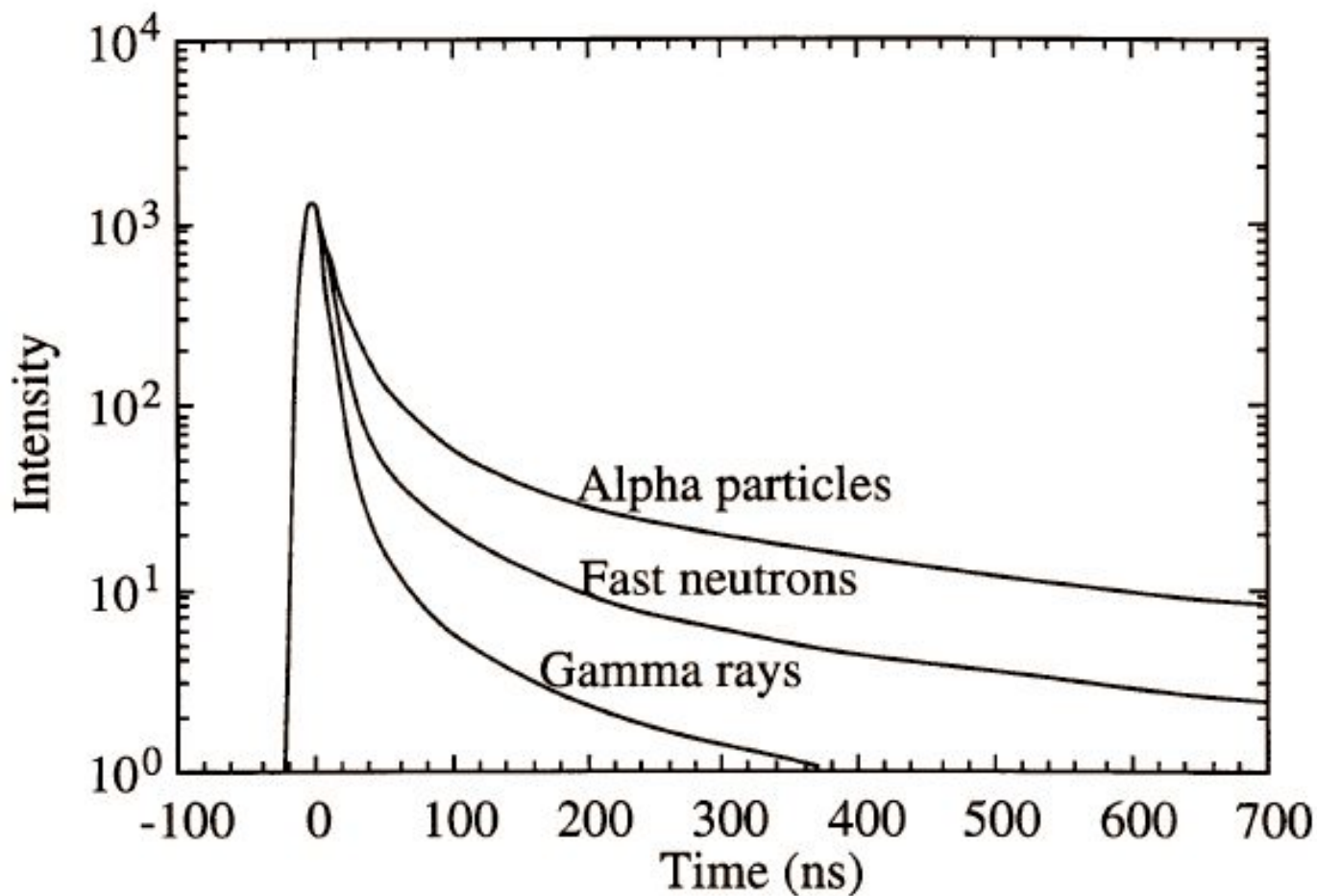


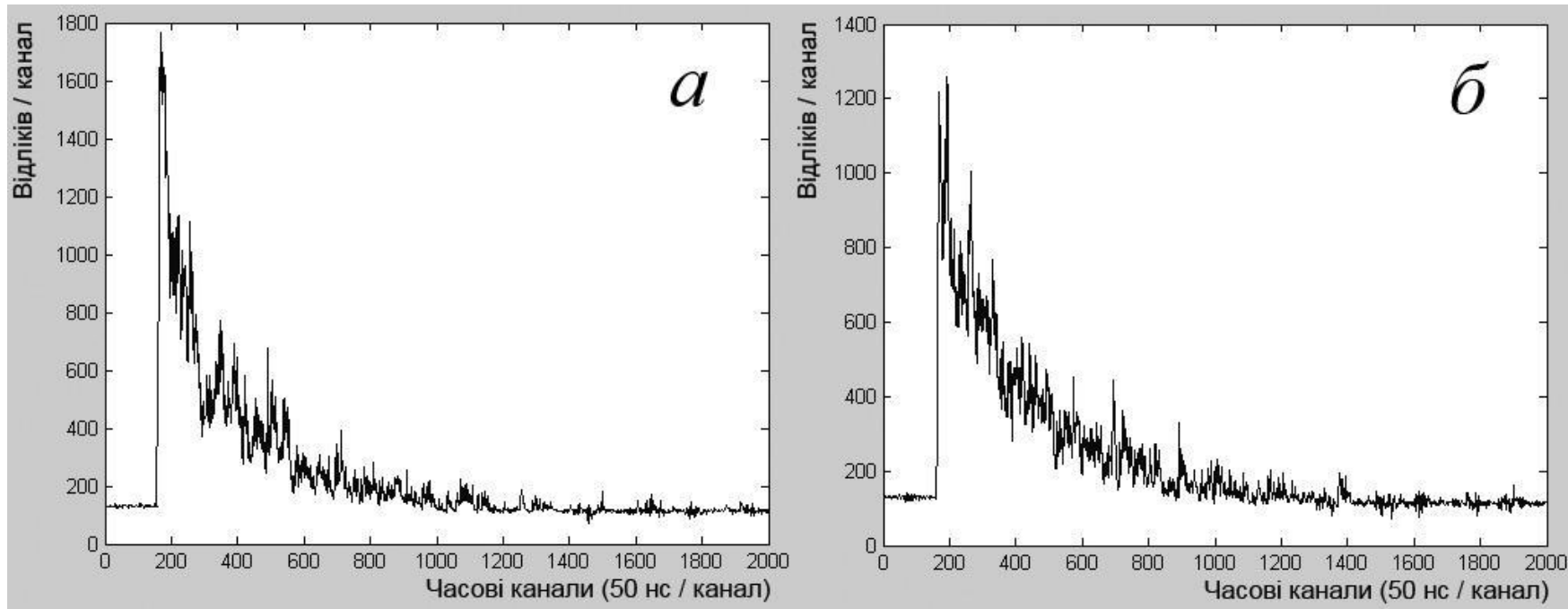
(from Birks)



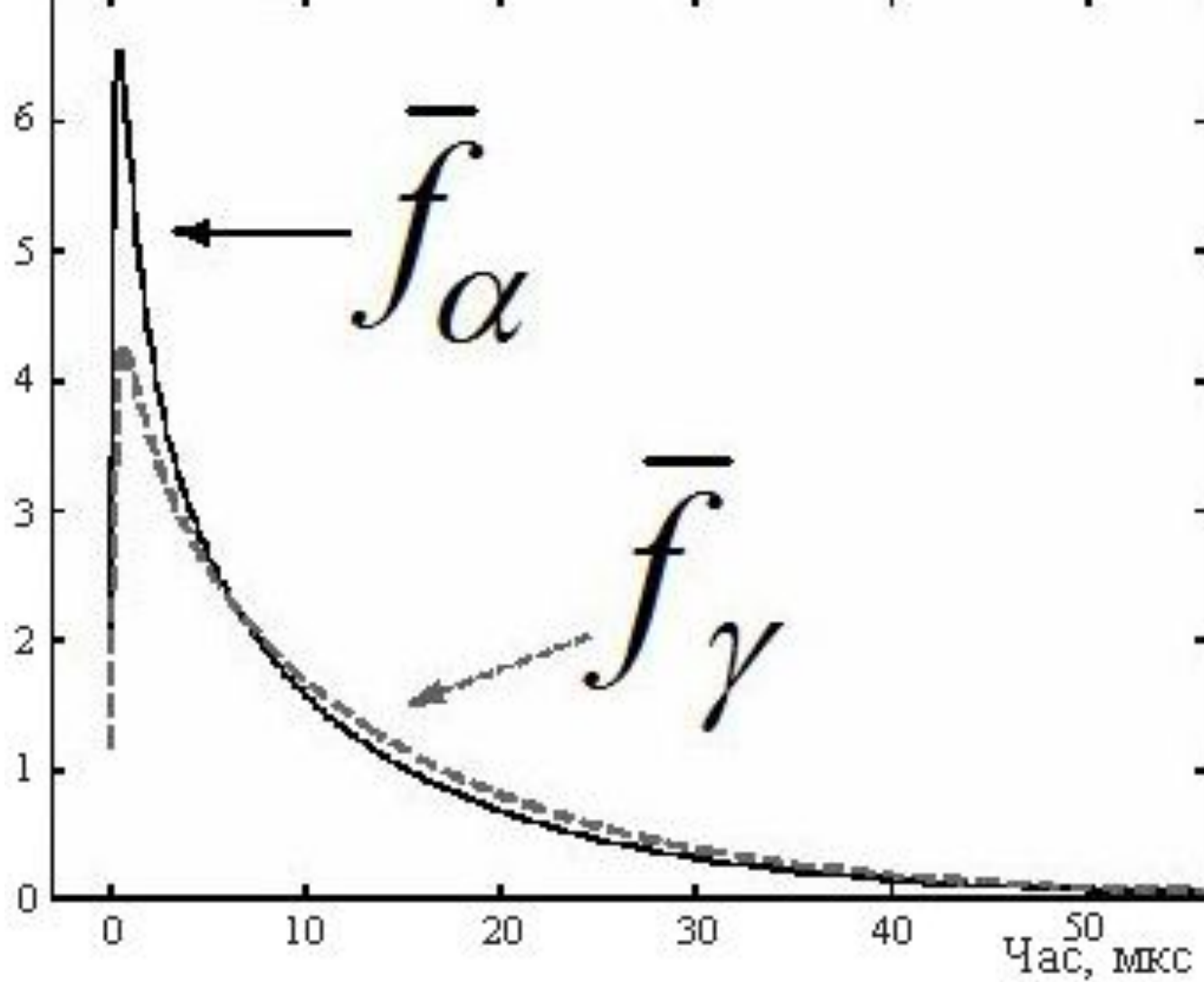
Excitation:	A → C	(very fast)
thermal equilibration:	C → B	($\sim 10^5$ longer)
Photon emission:	B → D	
thermal equilibration:	D → A	

***Залежність інтенсивності висвічування від часу кристалу
стильбену для різних типів іонізуючого випромінювання***





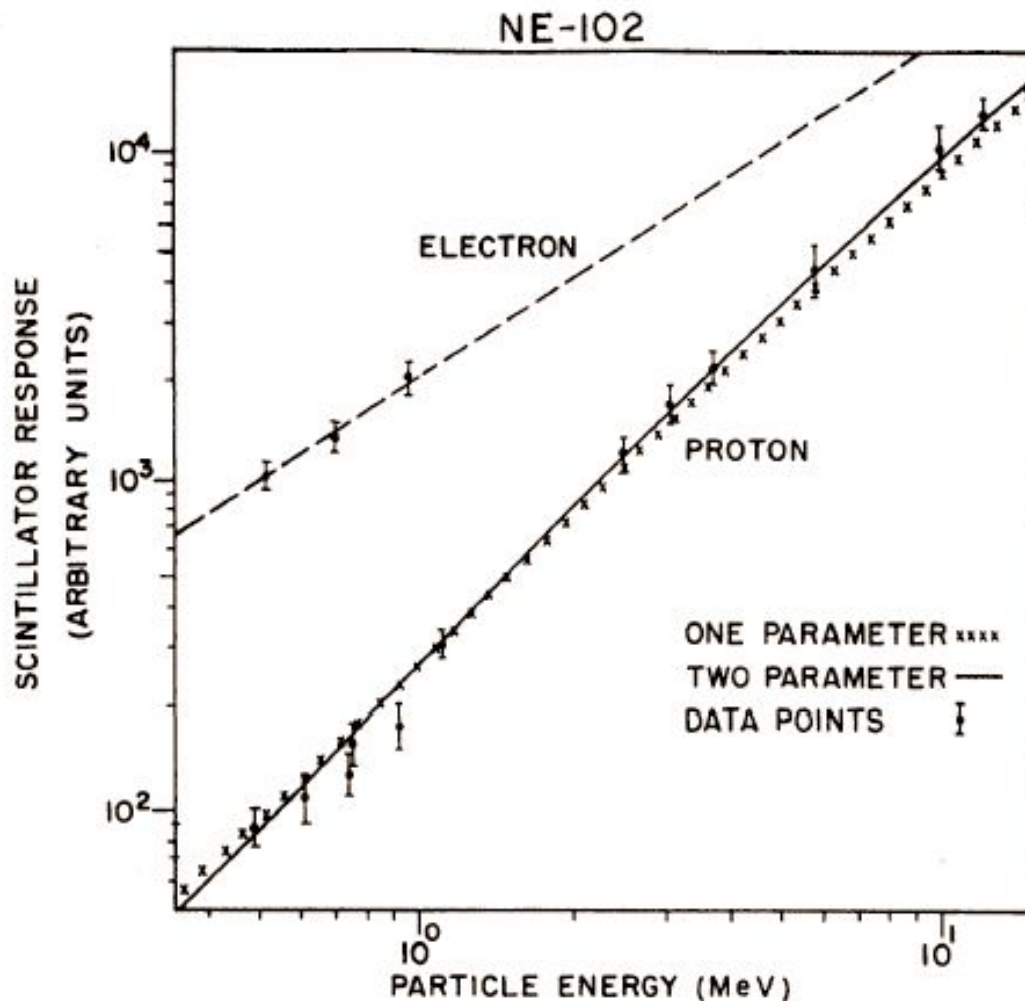
Типові форми сцинтиляційних сигналів від α - (а) та $\gamma(\beta)$ -частинок (б) у сцинтиляторі CdWO₄. Імпульси від γ -квантів (β -частинок) мають більш полого затухання, у той час як сигнали від α -частинок відрізняються більшою інтенсивністю швидкої компоненти сцинтиляційного спалаху



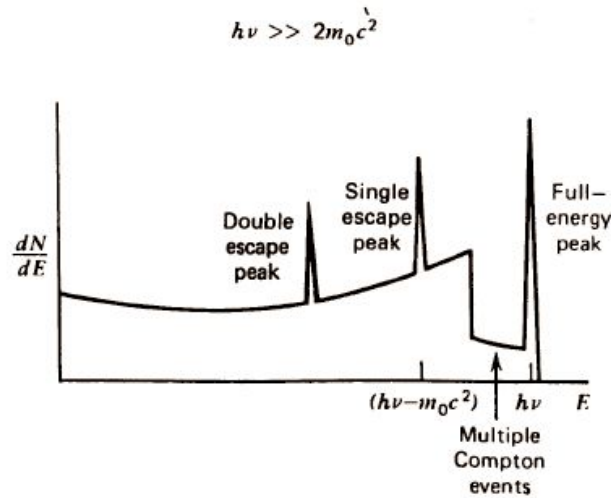
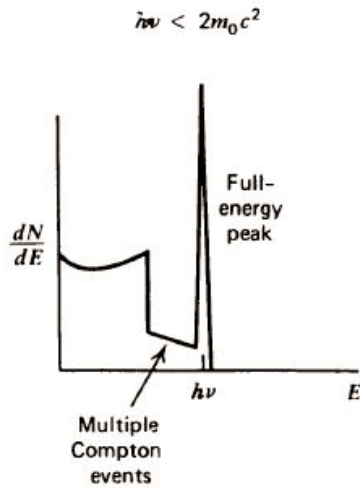
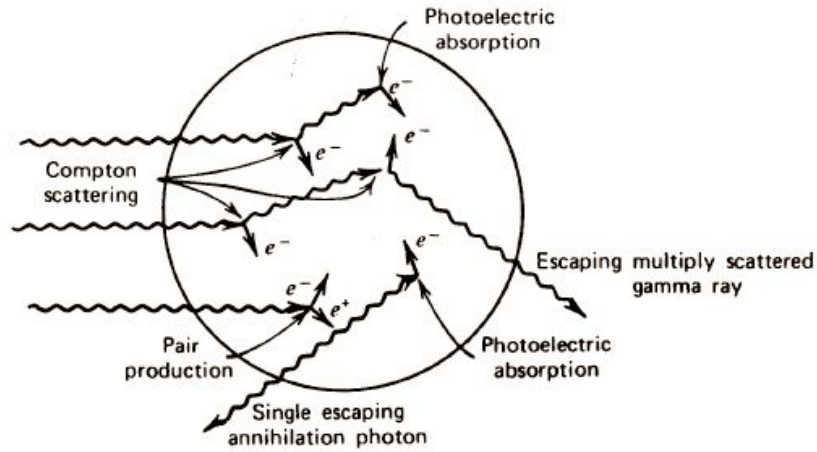
Типові усереднені форми сигналів у сцинтиляторах CdWO₄ від α-частинок та γ-квантів

МРІВ, Безшийко О.А.,
лекція 7

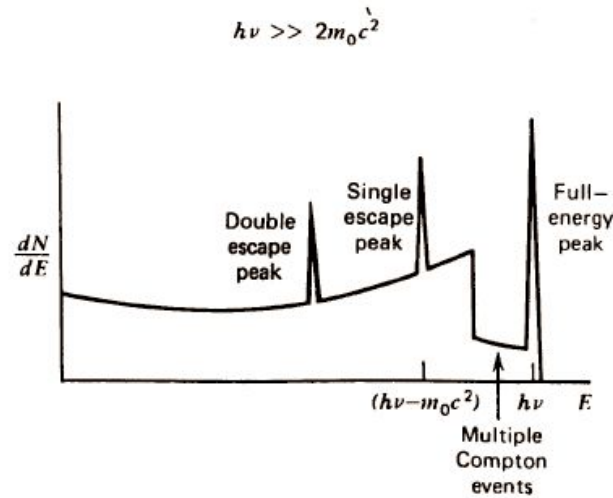
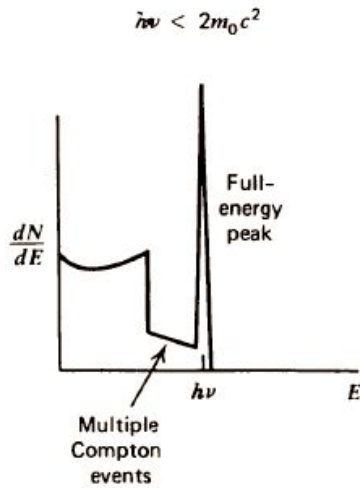
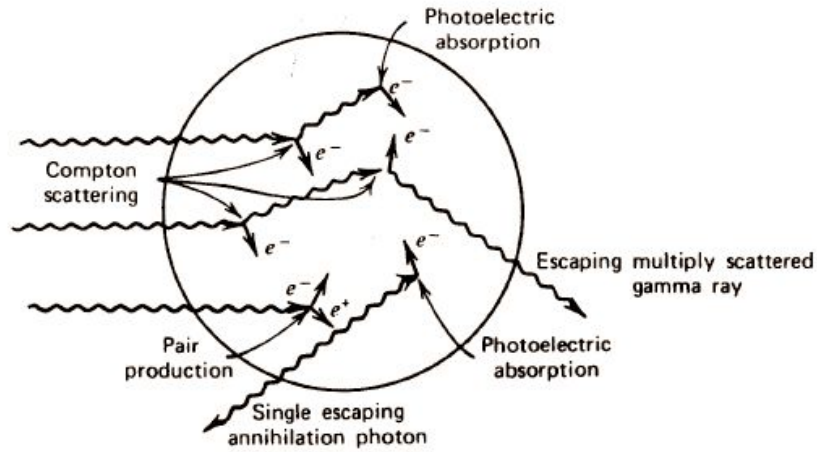
Залежність світлових виходу від питомих втрат енергії (різні типи частинок) для органічного сцинтилятора NE-102



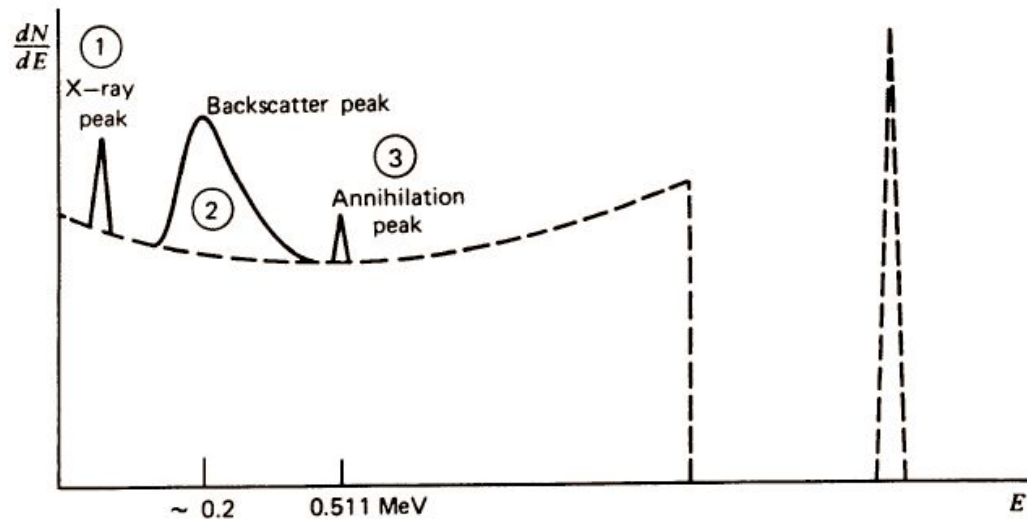
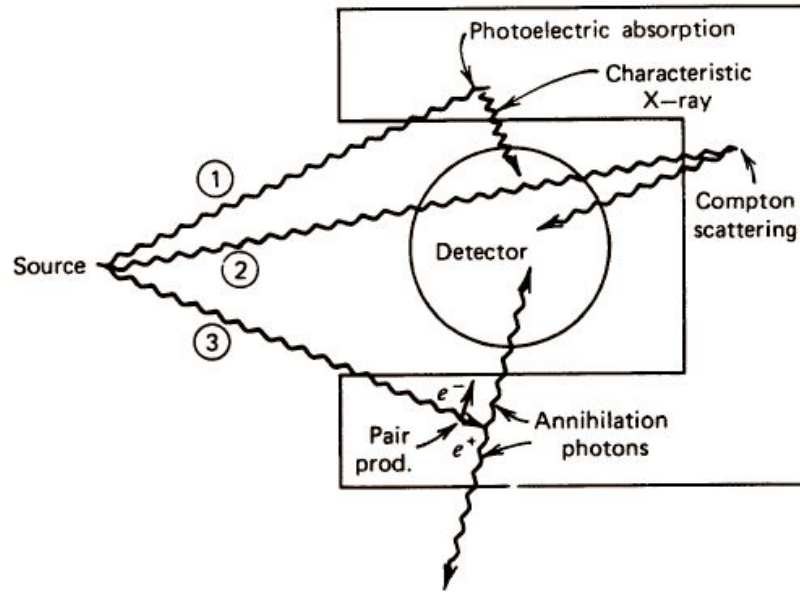
Функція відгуку детектору на основі неорганічного сцинтилятора



Функція відгуку детектору на основі неорганічного сцинтилятора



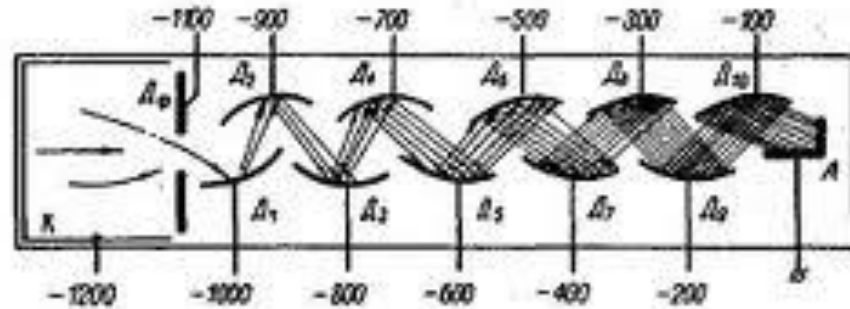
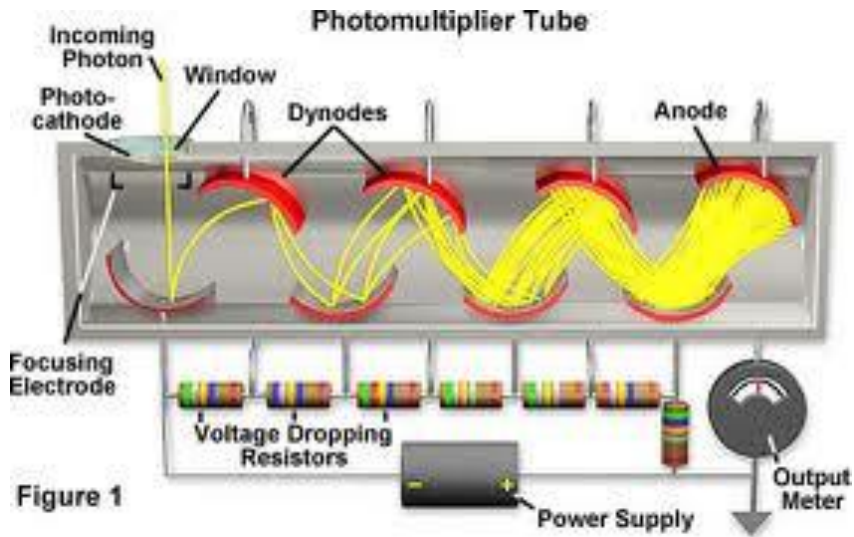
Функція відгуку детектору на основі неорганічного скінтілятора



Фотоелектронний помножувач (ФЕП)

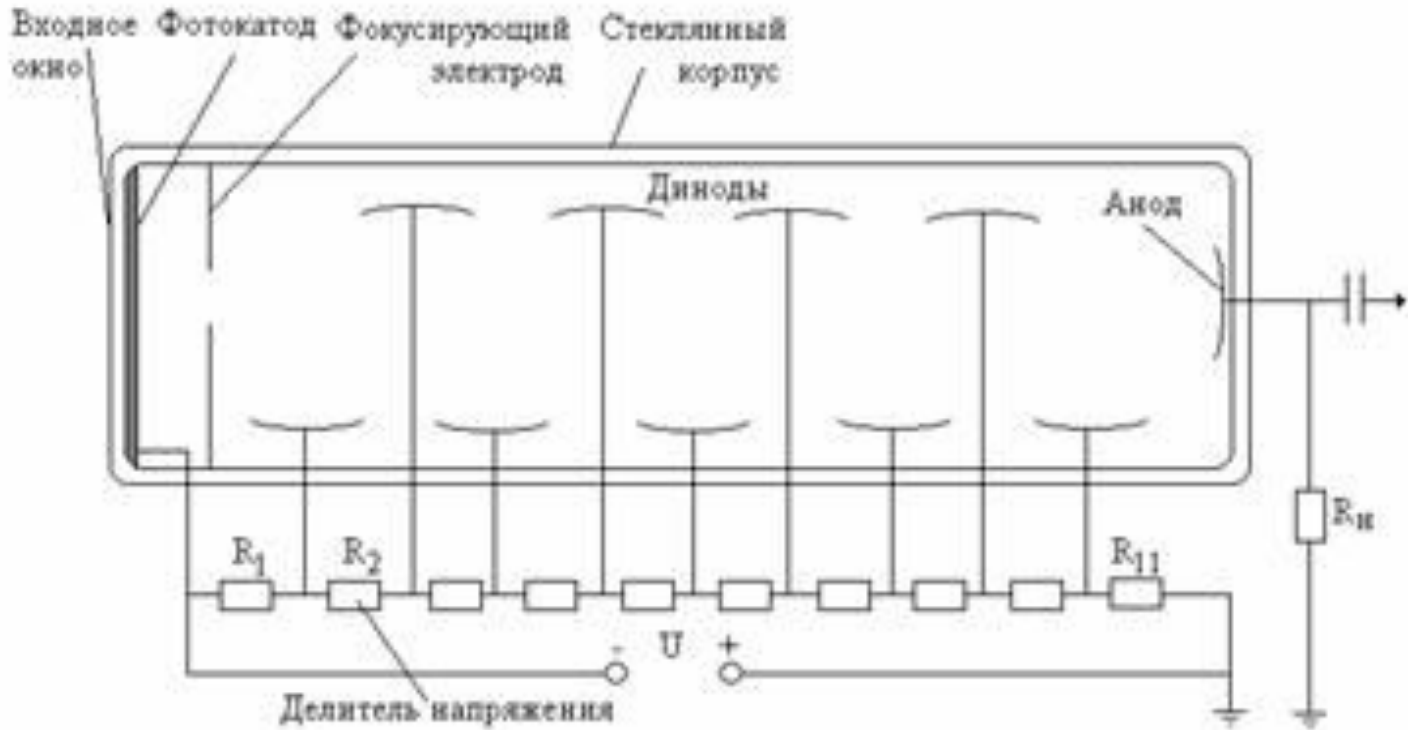
ФЕП складається з фотокатоду, скляної колби динодів та аноду

Після проходження 10 – 15 динодів проходить підсилення в 10^6 – 10^7 раз



МРІВ, Безшийко О.А.,
лекція 7

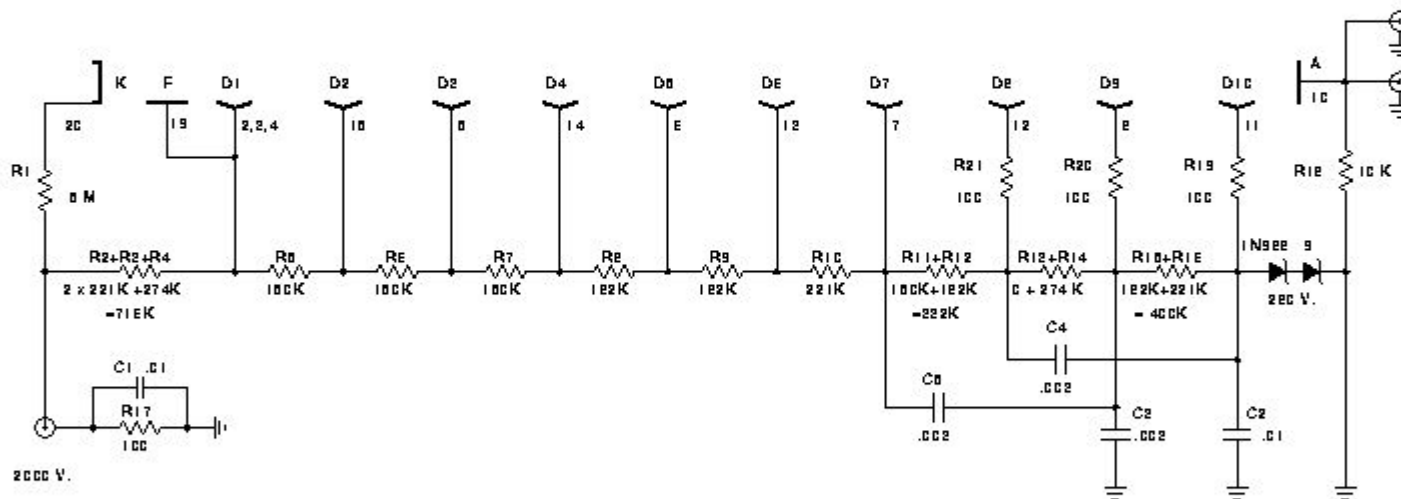
Дільник напруги живлення для фотопомножувача



Дільник напруги живлення для фотопомножувача

PMT DIVIDER FOR EMI 9822QKB

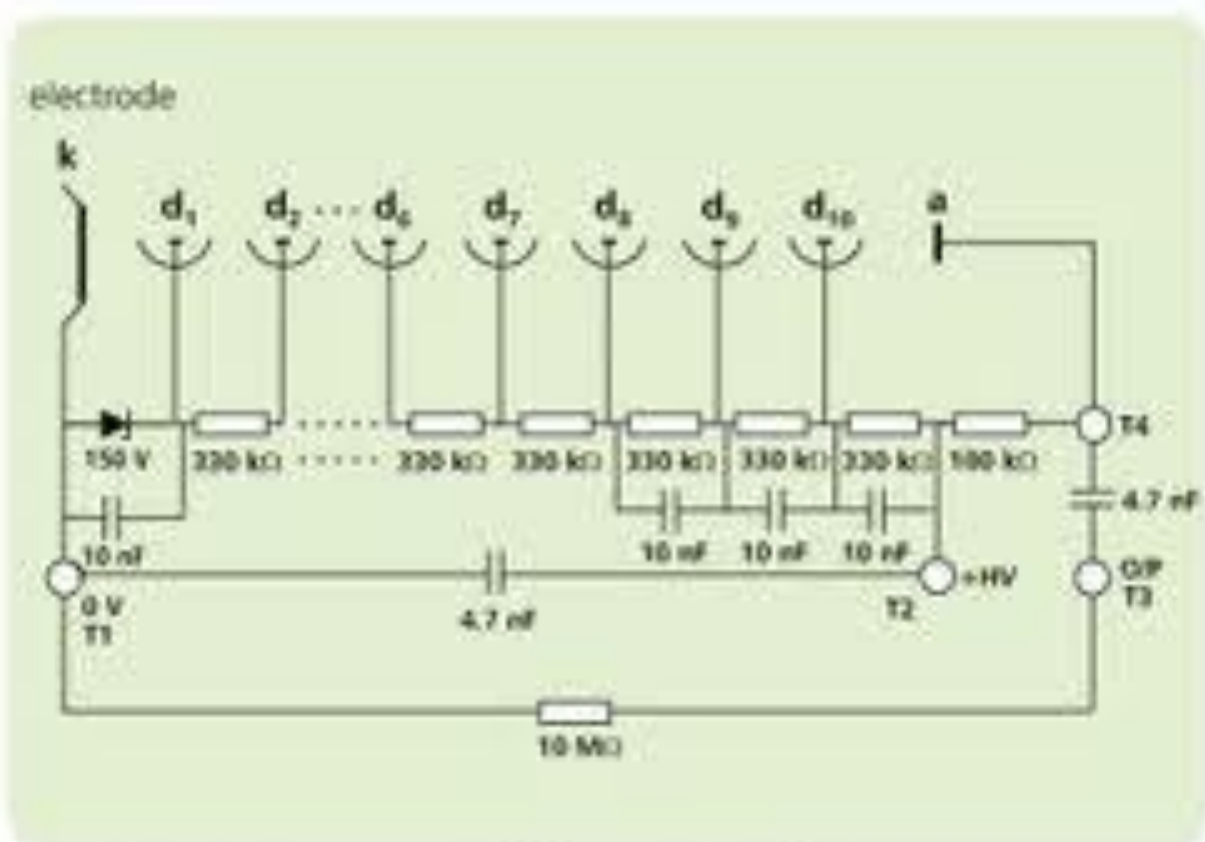
HIGH CURRENT 1994 VERSION



RESISTORS ARE 1% 1/4 W. METAL FILM

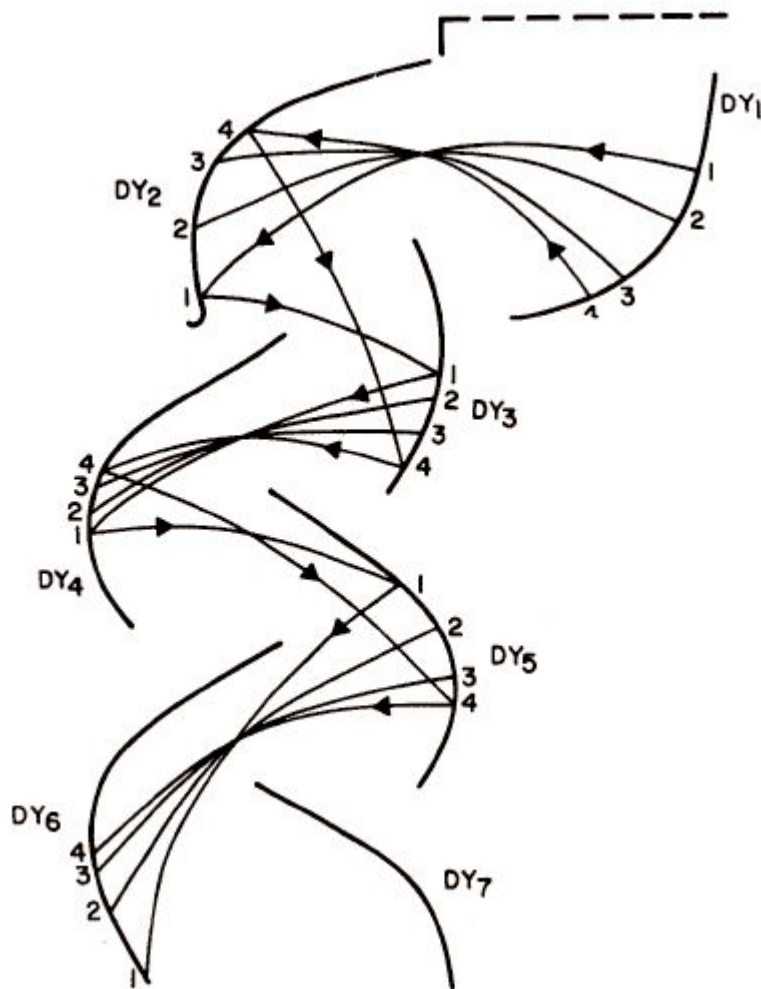
DIVIDER CURRENT IS 615 MICROAMPS. AT -2000 V.

Дільник напруги живлення для фотопомножувача



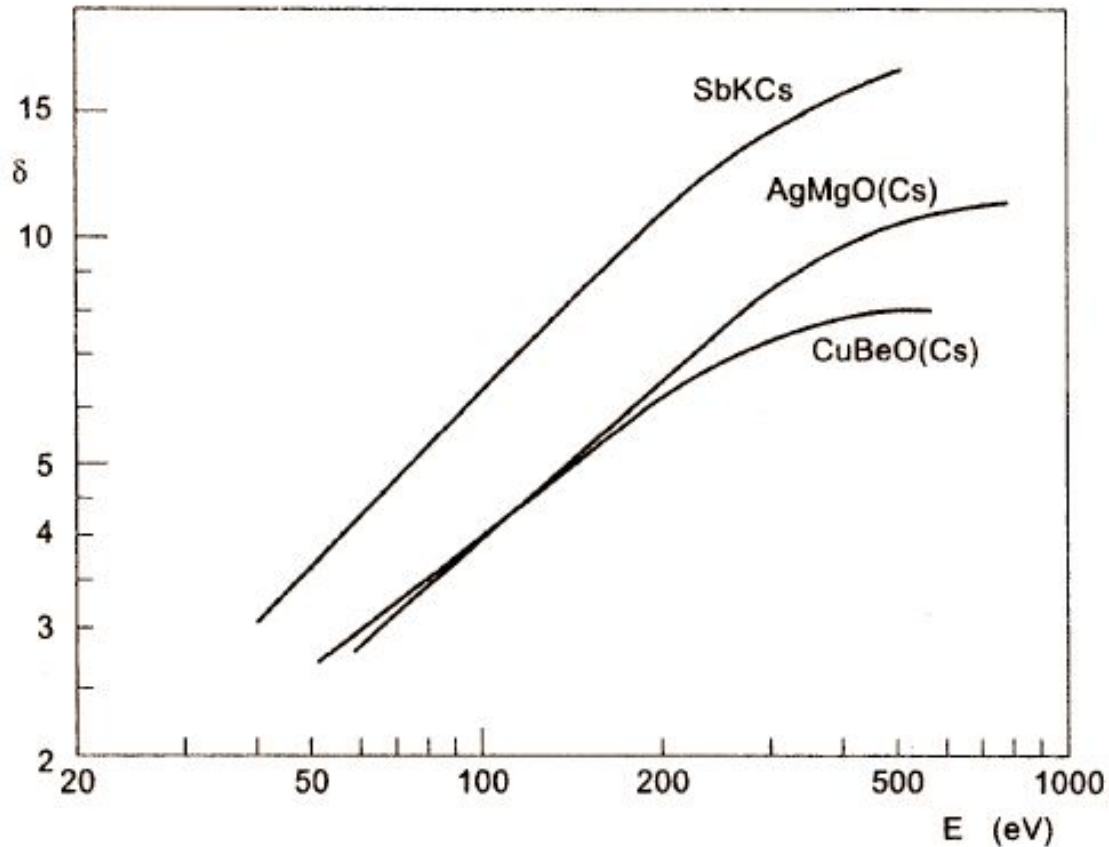
divider with zener stabilised $V(k-d_1)$
configured for +HV

Розміщення динодів для компенсації часового розкиду приходу електронів на анод



МРІВ, Безшийко О.А.,
лекція 7

Залежність коефіцієнту вторинної емісії електронів від енергії налітаючого електрона



Коефіцієнт підсилення ФЕП можна записати у вигляді:

$$M = \alpha_{\text{Д}}^n \cdot \prod_{i=1}^n \beta_i$$

де $\alpha_{\text{Д}}$ - коефіцієнт, який визначає середню долю електронів, які попадають з одного динода на інший,

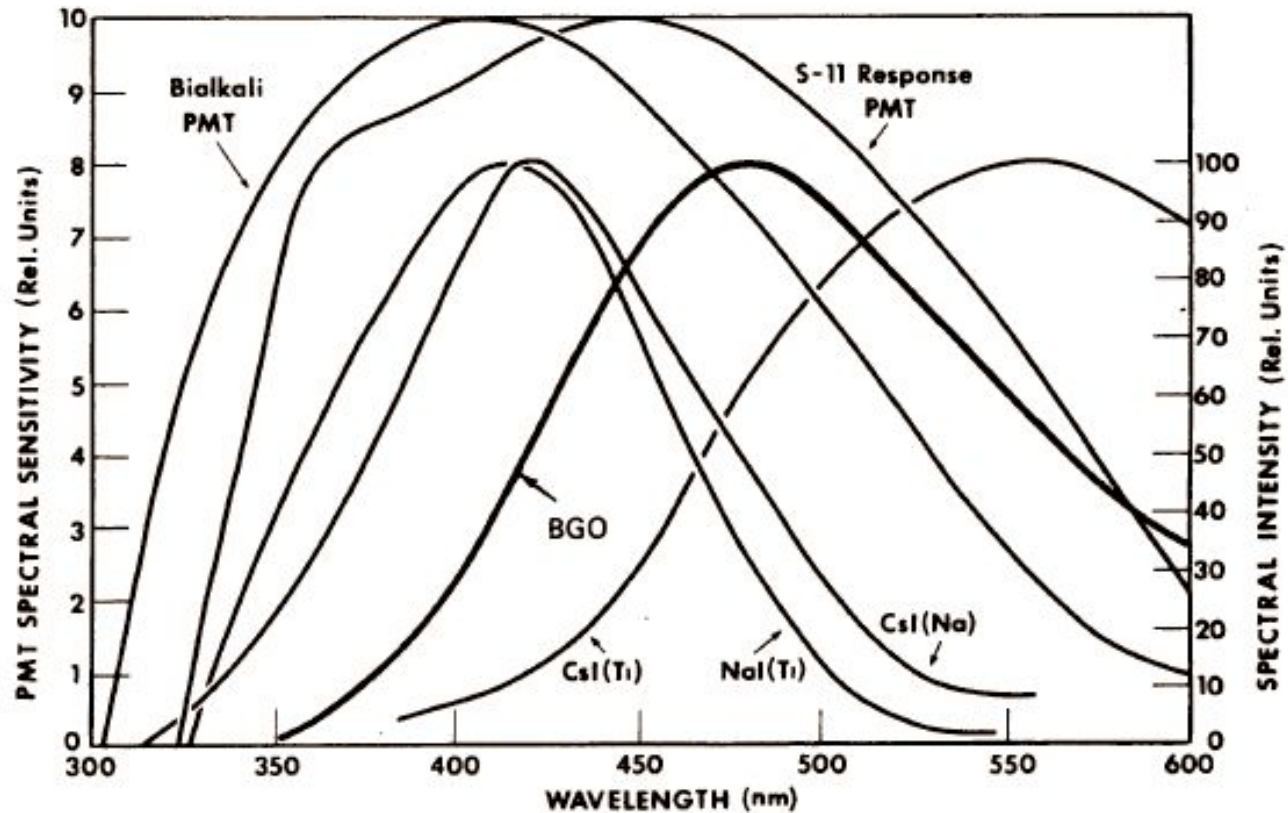
β_i - коефіцієнт вторинної емісії електронів для i -того диноду (кількість електронів, яка вибивається одним бомбардуючим електроном), n – кількість динодів ФЕП.

Залежність коефіцієнта вторинної емісії електронів від потенціалу V , який прикладається для прискорення електрону можна представити у вигляді

$$\beta = 2.71 \cdot \beta_{\text{max}} \cdot V \cdot \sqrt{\frac{V}{V_{\text{max}}}} / V_{\text{max}}$$

де β_{max} - максимальне значення β , яке досягається при $V=V_{\text{max}}$

Спектри висвічування сцинтиляторів і поглинання фотокатодів для деяких ФЕП



(from Knoll)

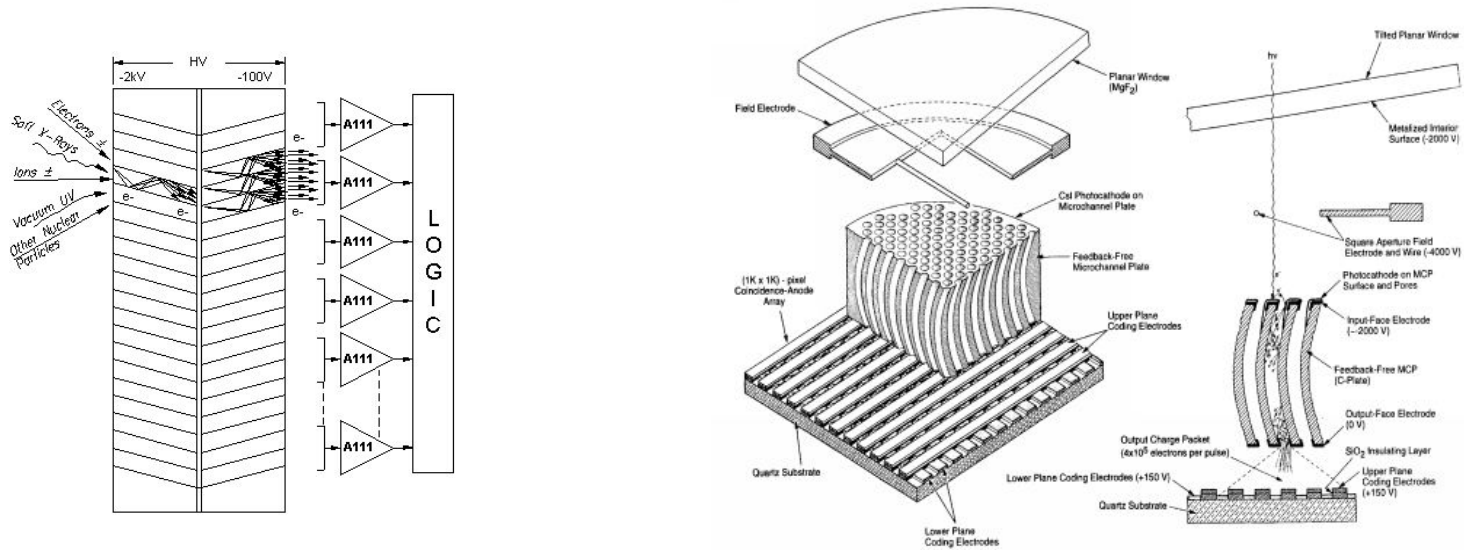
ФЕП на основі мікроканалъних пластин (МКП)

При жорстких вимогах до просторової роздільної здатності чи (та) роздільної здатності по часу в сучасних сцинтилюючих системах використовують ФЕП на основі мікроканалъних пластин (МКП).

МКП складається із мільйонів тонких скляних трубочок діаметром кілька (4-25) мікрометрів, на внутрішній поверхні яких нанесено провідний шар (з великим опором – від 20 до 1000 Мом), а на нього тонкий (порядку 10 нанометрів) діелектричний шар, з якого можуть ефективно вибиватися електрони. До МКП прикладається напруга (1-3 кВ), мінус на вході трубочок, плюс на виході. Ця напруга розподіляється по всій довжині трубки. Електрон під дією поля попадає на вхід мікротрубки, прискорюється і вибиває із стінки кілька електронів, далі кожний з них теж прискорюється вздовж трубки і теж вибиває електрони – утворюється електронна лавина.

ФЕП на основі мікроканальних пластин (МКП)

Підсилення однієї МКП, в залежності від напруги може складати від 10^4 до $10^6 - 10^7$ в залежності від напруги. Для того, щоб вибиті іони (під дією електронного бомбардування) не могли прискорюватися по всій довжині трубки в зворотньому напрямку і не вибивали паразитні електрони на початку трубки, утворюючи вторинні лавини аж до неперервного струму в трубці (як в газоразрядних лічильниках з катодів), роблять або шевронні збірки (2 чи три МКП ставлять одна за одною під невеликими кутами між собою), або канали-трубки трохи вигинають

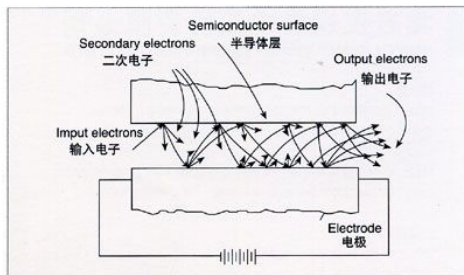
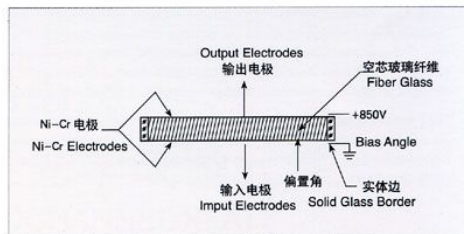
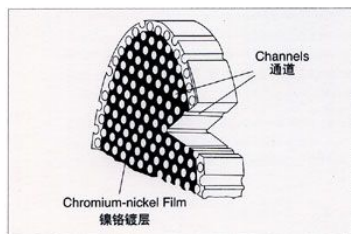


ФЕП на основі мікроканалльних пластин (МКП)

МКП дозволяють отримати часову роздільну здатність до десятків пікосекунд і просторову – одиниці мікрометрів. Довжина імпульсу порядку 500 пікосекунд на половині висоти, фронт менше 300 пікосекунд. Коефіцієнт підсилення МКП визначається за формулою:

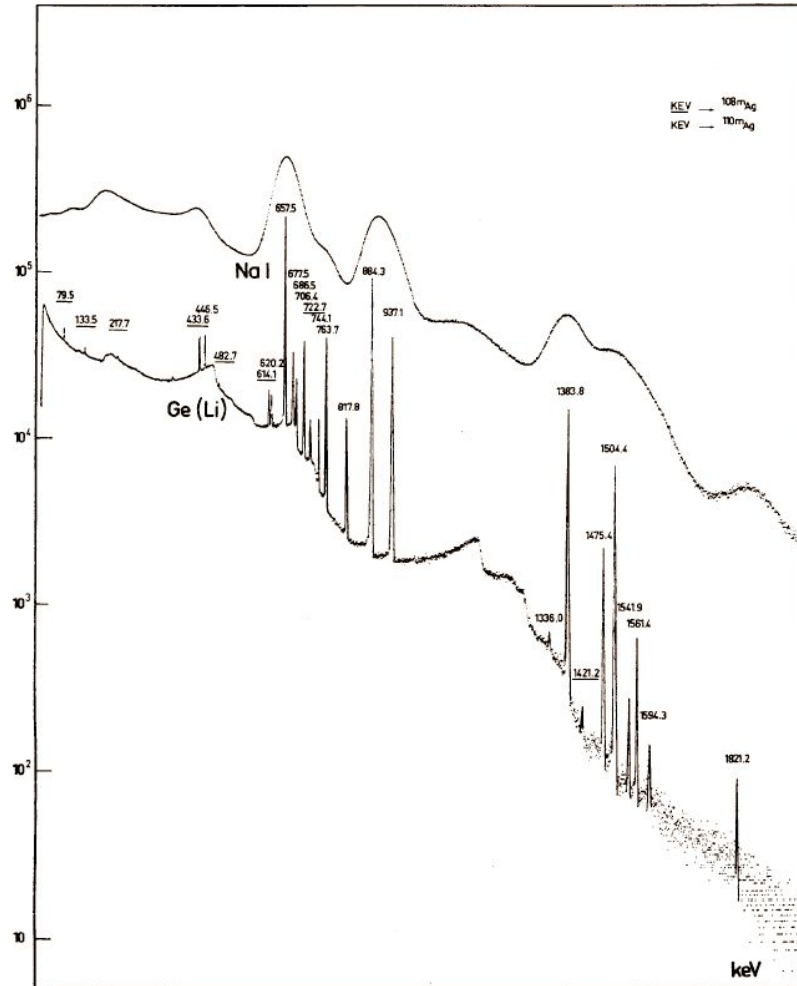
$$g = \left[\frac{G}{d} \right]^l$$

Де G – коефіцієнт вторинної емісії, l та d – довжина і діаметр трубки (каналу).
Відношення у стандартних МКП 40 – 80.



微通道板结构原理图
Structure & Principle of MCP

Порівняння енергетичної роздільної здатності сцинтиляційного та напівпровідникового детектора



МРІВ, Безшийко О.А.,
лекція 7