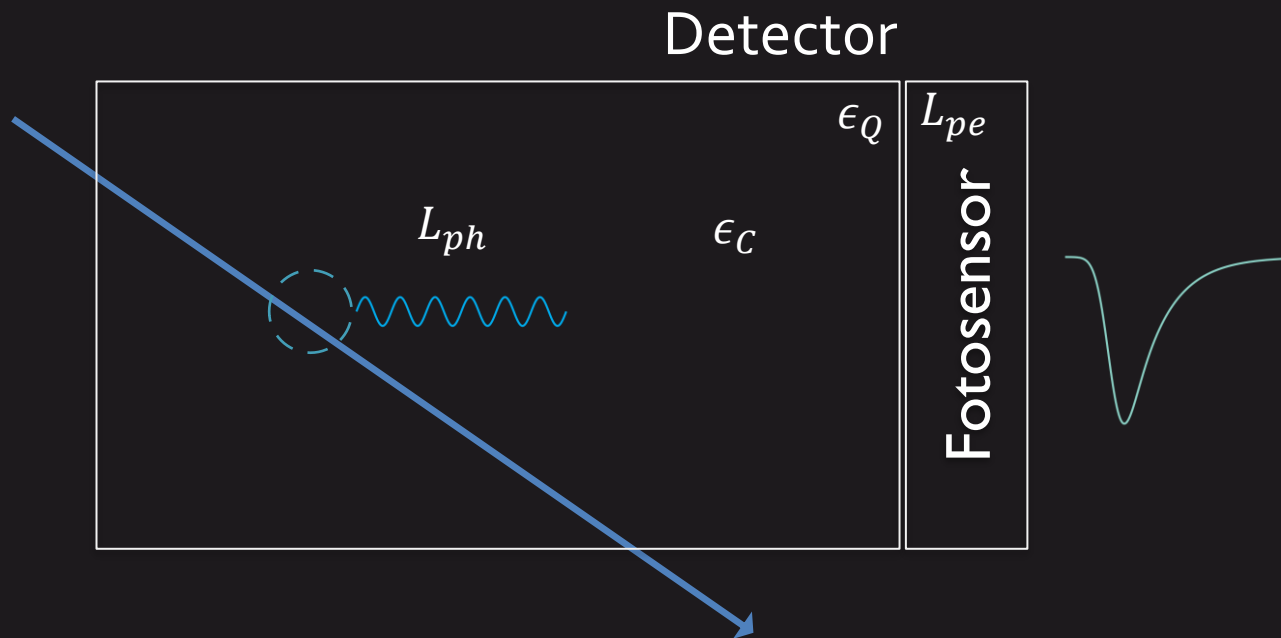


Interações em detectores

Conversão fotônica

Detectors de fótons



1- Excitação ou ionização de átomos ou moléculas do meio, seguida de relaxação/recombinação e emissão de fótons, com comprimento de onda na região visível ou próxima UV/IR (cintilação).

2- Radiação *Cherenkov* (faixa UV) e radiação emitida na transição de dois meios dielétricos (radiação de *transição*, faixa de raio-X).

Luz emitida é detectada por um fotosensor.

L_{ph} : Número de fótons gerados no cintilador por 1MeV de energia depositada

L_{pe} : Número de fotoelétrons gerados no fotosensor por 1MeV de energia depositada no cintilador

ϵ_C : Eficiência de coleta de luz

ϵ_Q : *Eficiência quântica* do fotosensor; número de fotoelétrons gerados em média por fóton incidente

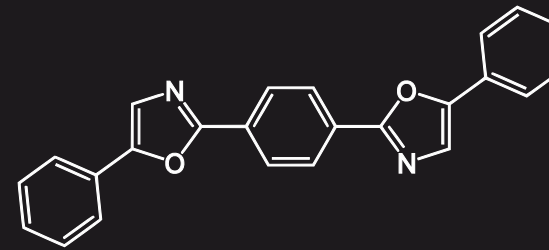
$$L_{pe} = L_{ph} \times \epsilon_C \times \epsilon_Q$$

A (ou G): Ganho do fotosensor; carga coletada por fotoelétron

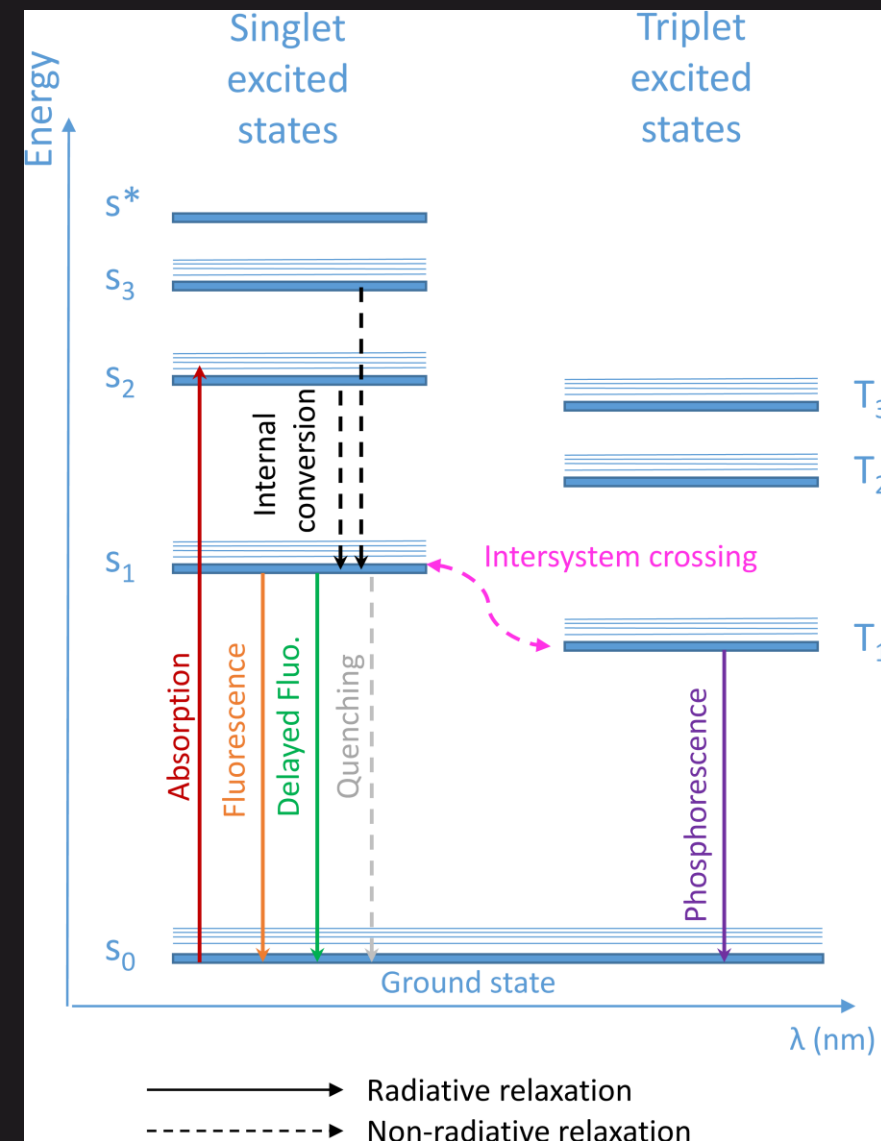
Número de fótons emitidos proporcional à energia depositada, e carga elétrica gerada pelo fotosensor proporcional ao número de fótons incidentes (idealmente).

Cintiladores orgânicos

- Compostos orgânicos com estrutura molecular tipo benzeno.
- Como cristal, soluções líquidas, com solvente orgânico, e plásticos, com base de polímero.
- Agentes fluorescentes adicionados como dopantes absorvendo e reemitindo luz com comprimento de onda maior e diminuindo absorção.
- Cintiladores orgânicos são rápidos (poucos ns de tempo de decaimento) e apresentação saturação para alta densidade de ionização (fórmula de Birks).

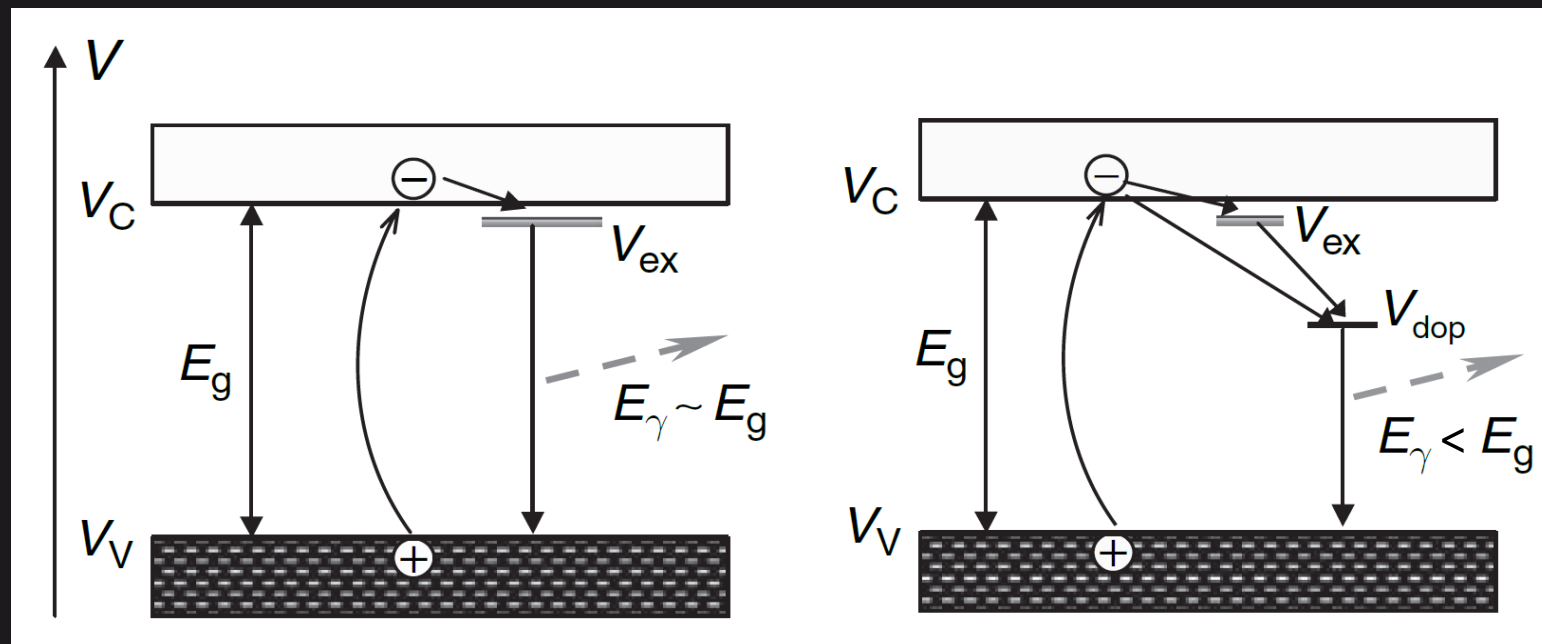


Scintillator	base	density ρ [g/cm ³]	τ_D [ns]	L_{ph}, N_{ph} [per MeV]	λ_{em} [nm]	$n(\lambda_{em})$
Anthracene		1.25	30	16 000	440	1.62
BC-408 (BICRON)	PVT	1.032	2.1	10 000	425	1.58
BC-418 (BICRON)	PVT	1.032	1.5	11 000	391	1.58
UPS-89 (AMCRYS-H)	PS	1.06	2.4	10 000	418	1.60
UPS-91F (AMCRYS-H)	PS	1.06	0.6	6 500	390	1.60



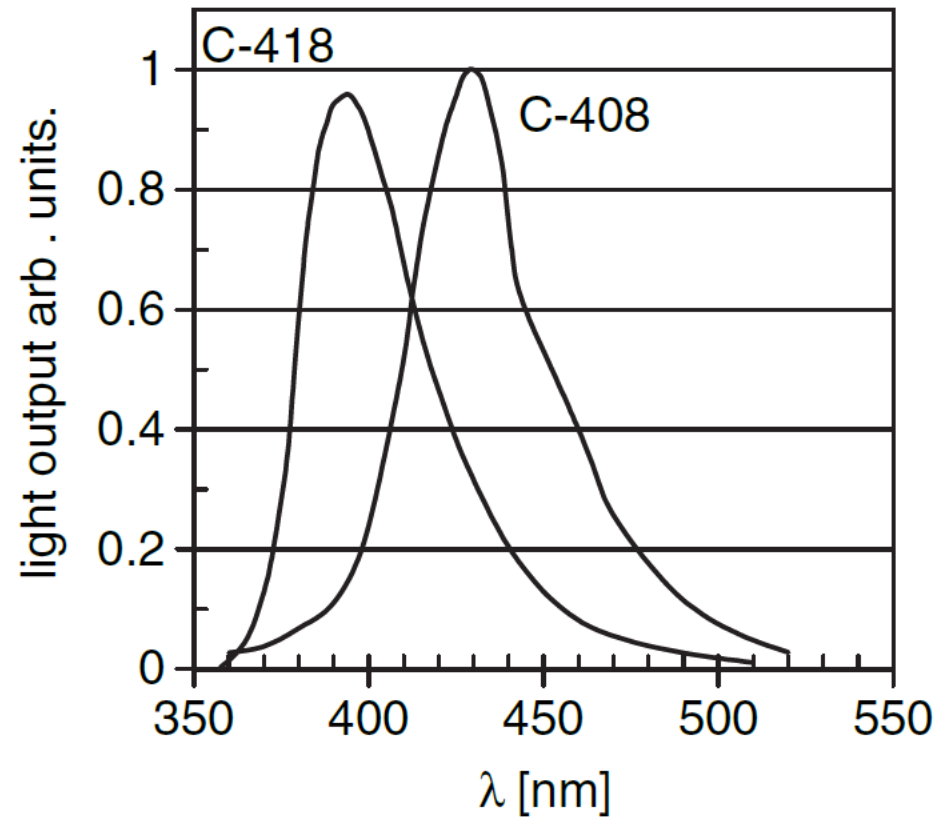
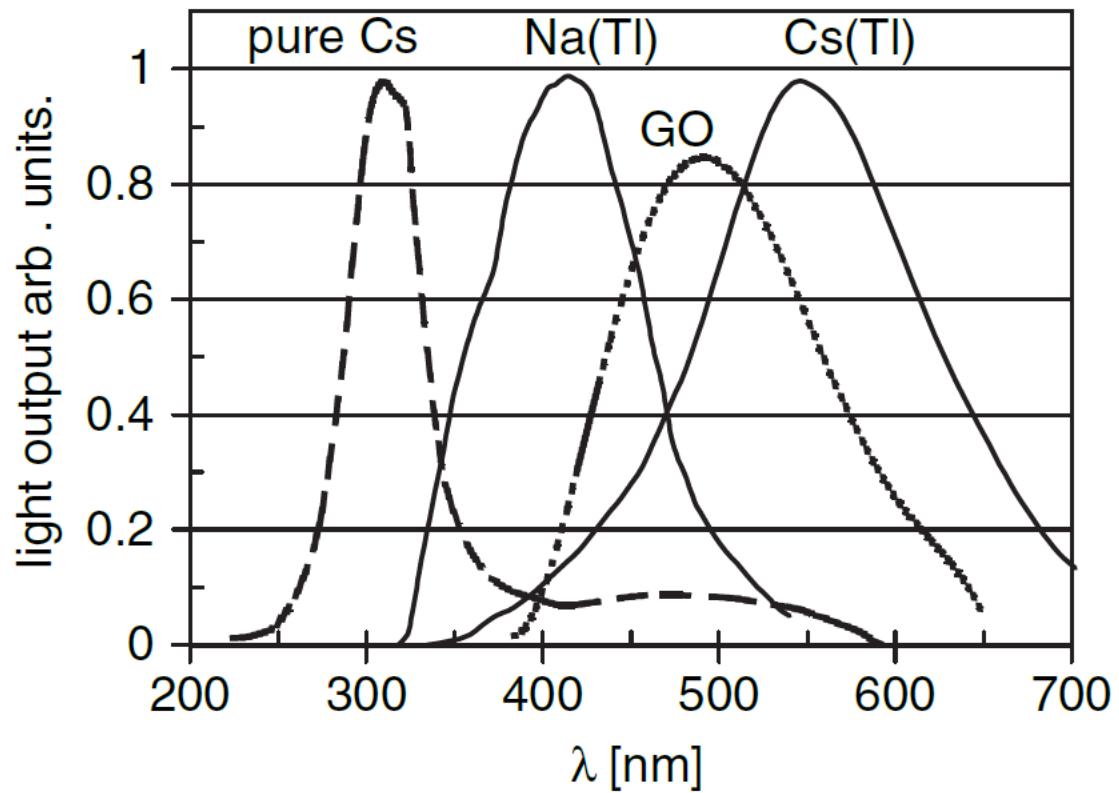
Cintiladores inorgânicos

- Estruturas cristalinas (e.g. NaI, CsI, BaF₂, Bi₄Ge₃O₁₂)
- *Gap* de energia entre bandas de valência e condução relativamente alto, poucos elétrons na banda de condução, para que seja transparente à luz emitida.
- Emissão de luz via recombinação direta ou via estado "exciton".
- Para aumentar eficiência de cintilação, impurezas dopantes são adicionadas à rede cristalina (e.g. Tl) que criam centros de ativação facilitando a emissão de luz.

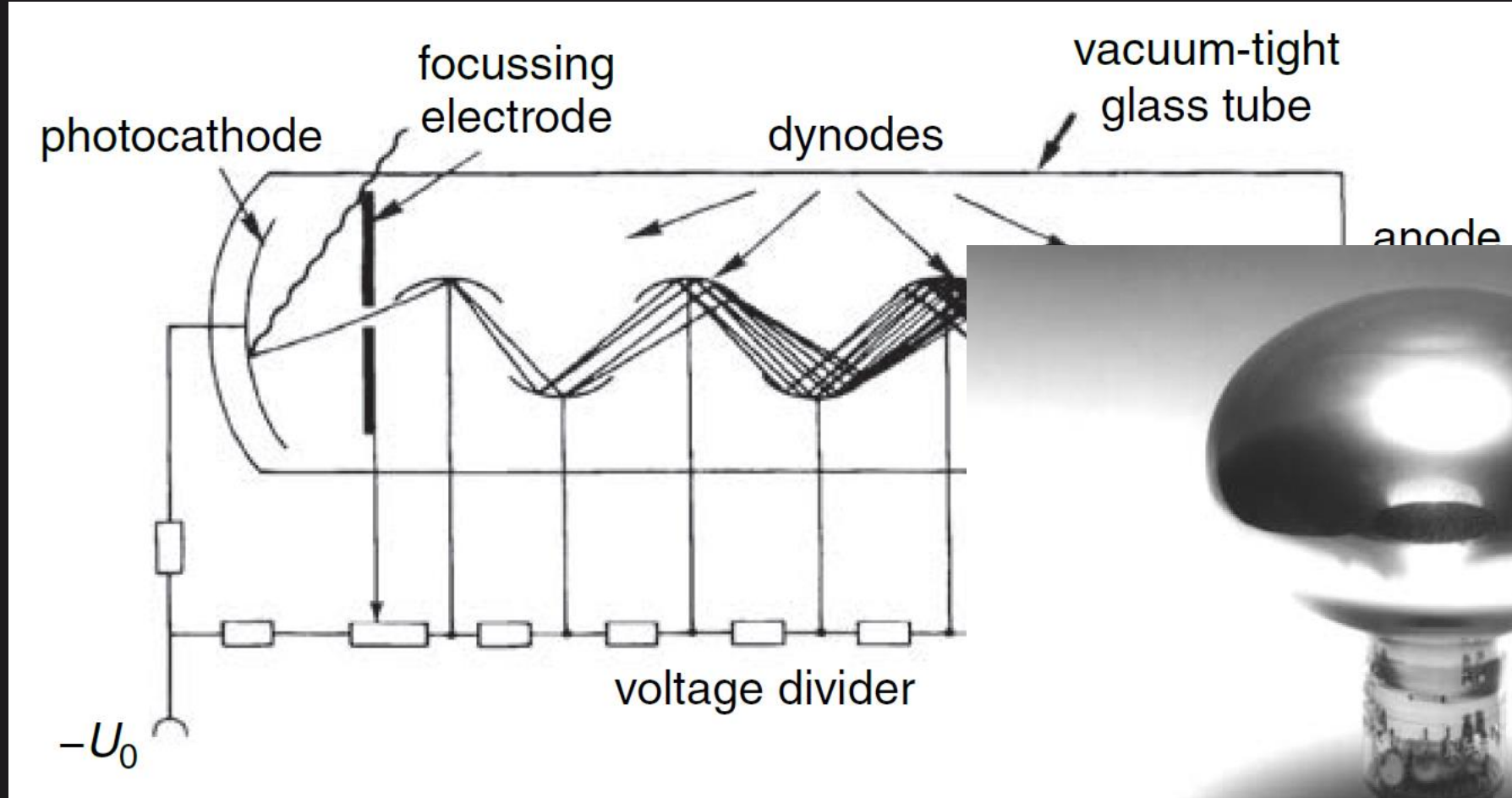


Cintiladores inorgânicos

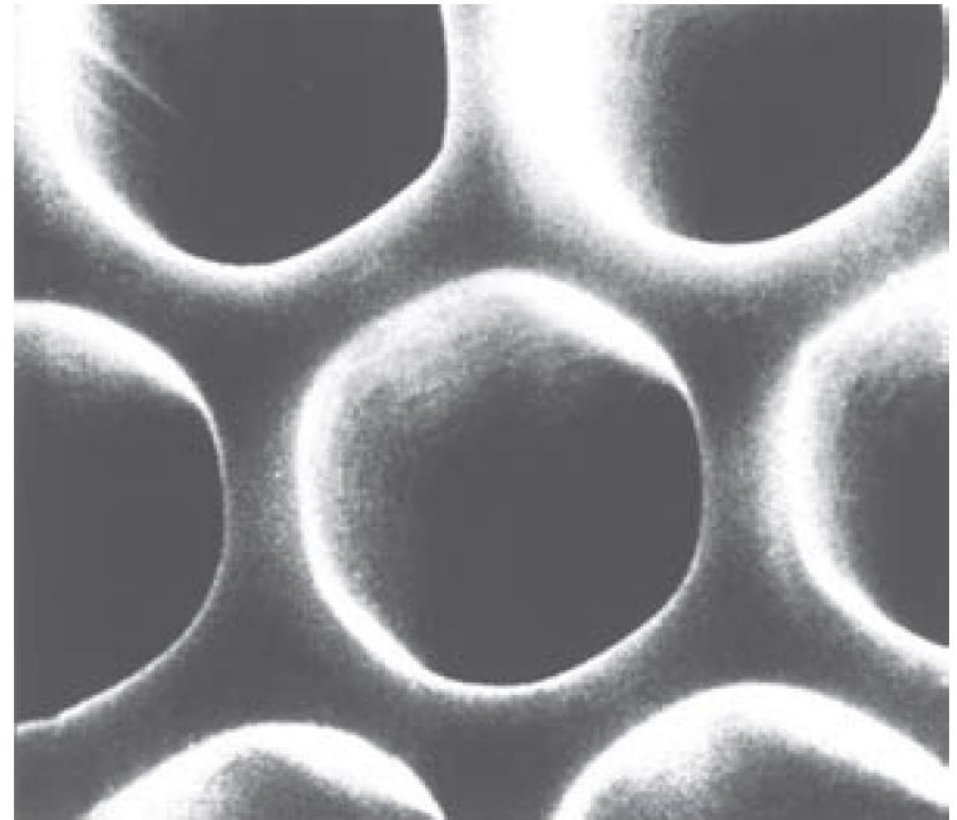
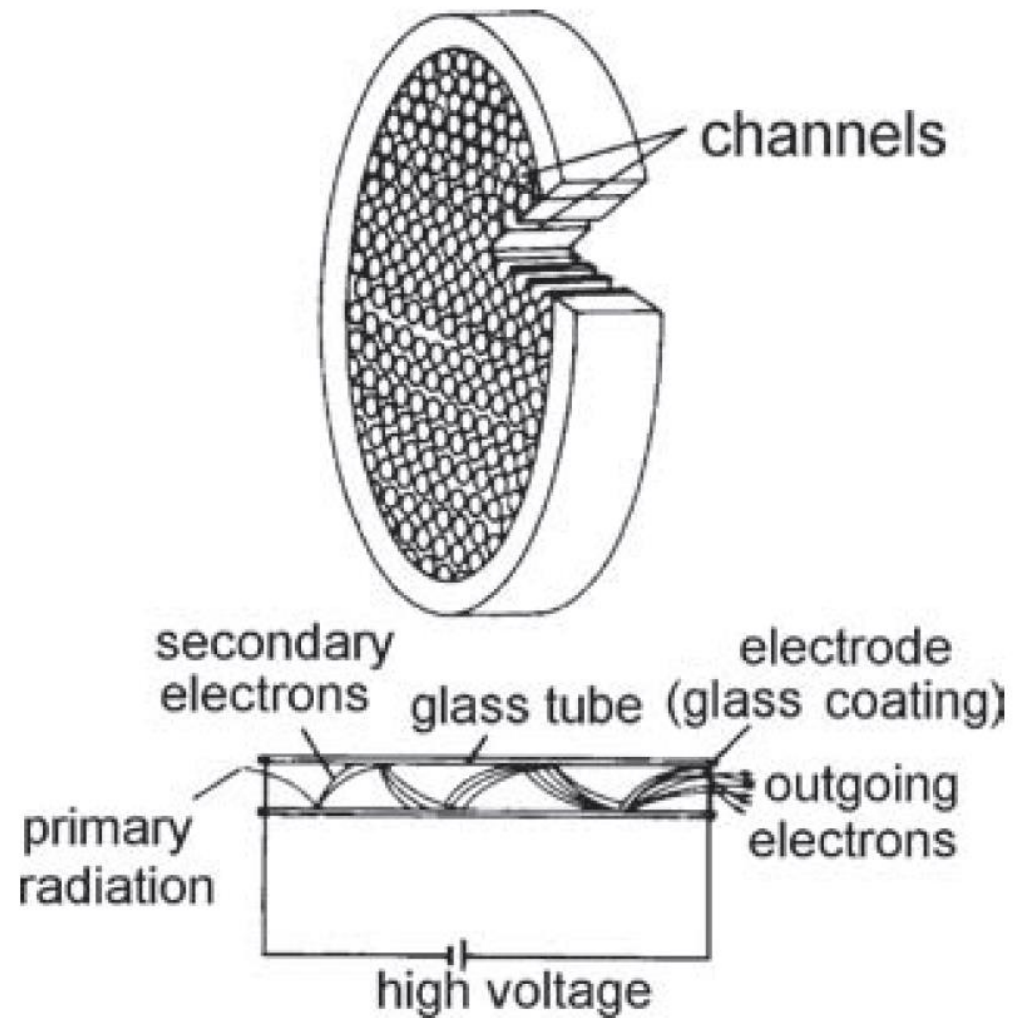
Scintillator	Density ρ [g/cm ³]	X_0 [cm]	τ_D [ns]	L_{ph}, N_{ph} [per MeV]	λ_{em} [nm]	$n(\lambda_{em})$
NaI(Tl)	3.67	2.59	230	$3.8 \cdot 10^4$	415	1.85
LiI(Eu)	4.08	2.2	1400	$1 \cdot 10^4$	470	1.96
CsI	4.51	1.85	30	$2 \cdot 10^3$	315	1.95
CsI(Tl)	4.51	1.85	1000	$5.5 \cdot 10^4$	550	1.79
CsI(Na)	4.51	1.85	630	$4 \cdot 10^4$	420	1.84
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (BGO)	7.13	1.12	300	$8 \cdot 10^3$	480	2.15
BaF ₂	4.88	2.1	0.7	$2.5 \cdot 10^3$	220	1.54
			630	$6.5 \cdot 10^3$	310	1.50
CdWO ₄	7.9	1.06	5000	$1.2 \cdot 10^4$	540	2.35
			20 000		490	
PbWO ₄ (PWO)	8.28	0.85	10/30	70–200	430	2.20
Lu ₂ SiO ₅ (Ce) (LSO)	7.41	1.2	12/40	$2.6 \cdot 10^4$	420	1.82



Fotosensores – PMT (Fotomultiplicadora)

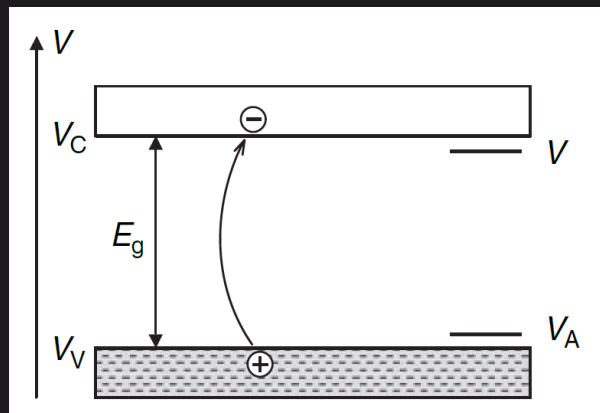
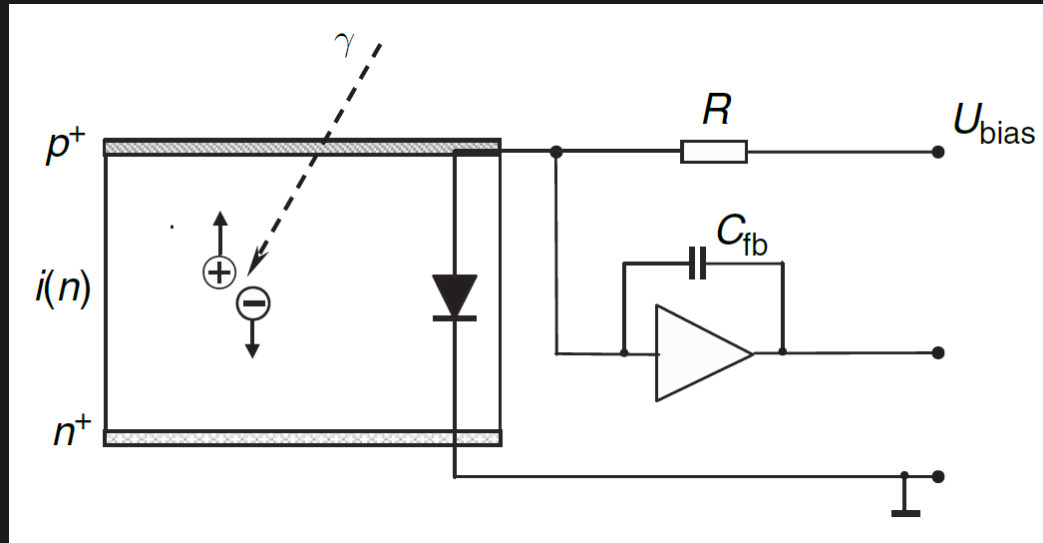


Fotosensores – MCP-PMT

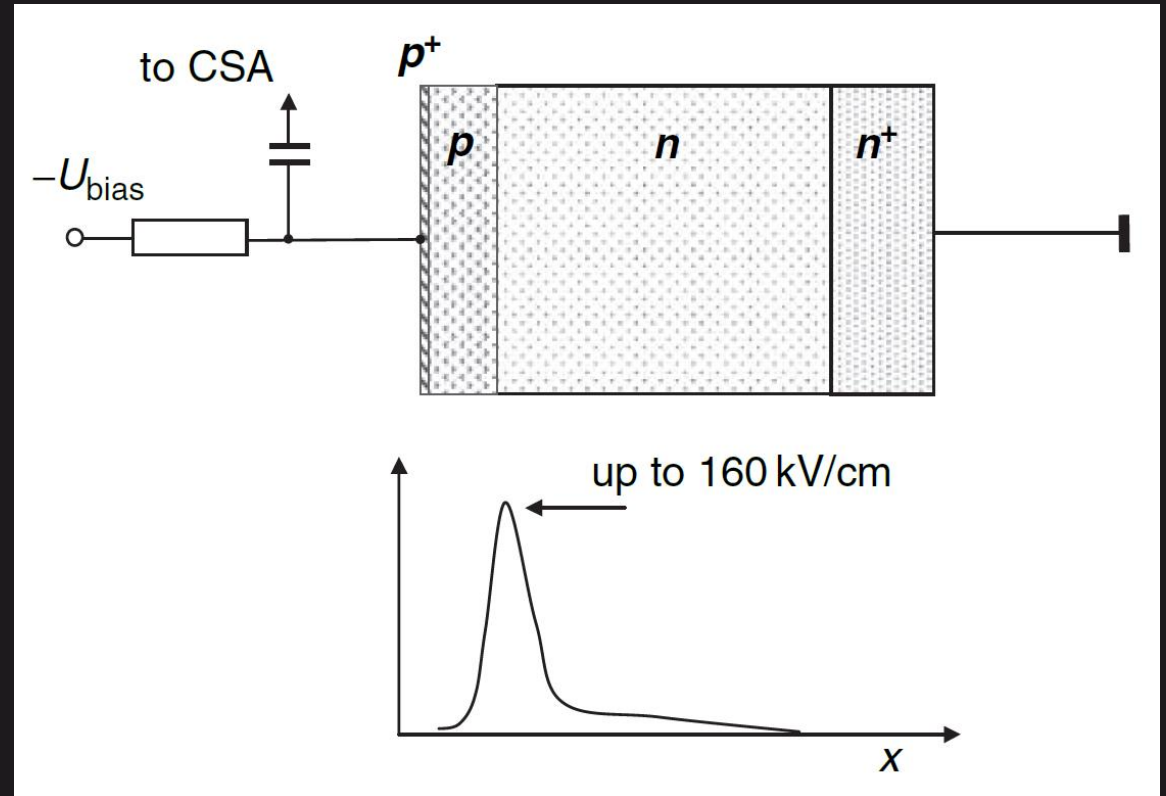


Fotosensores – Semicondutores

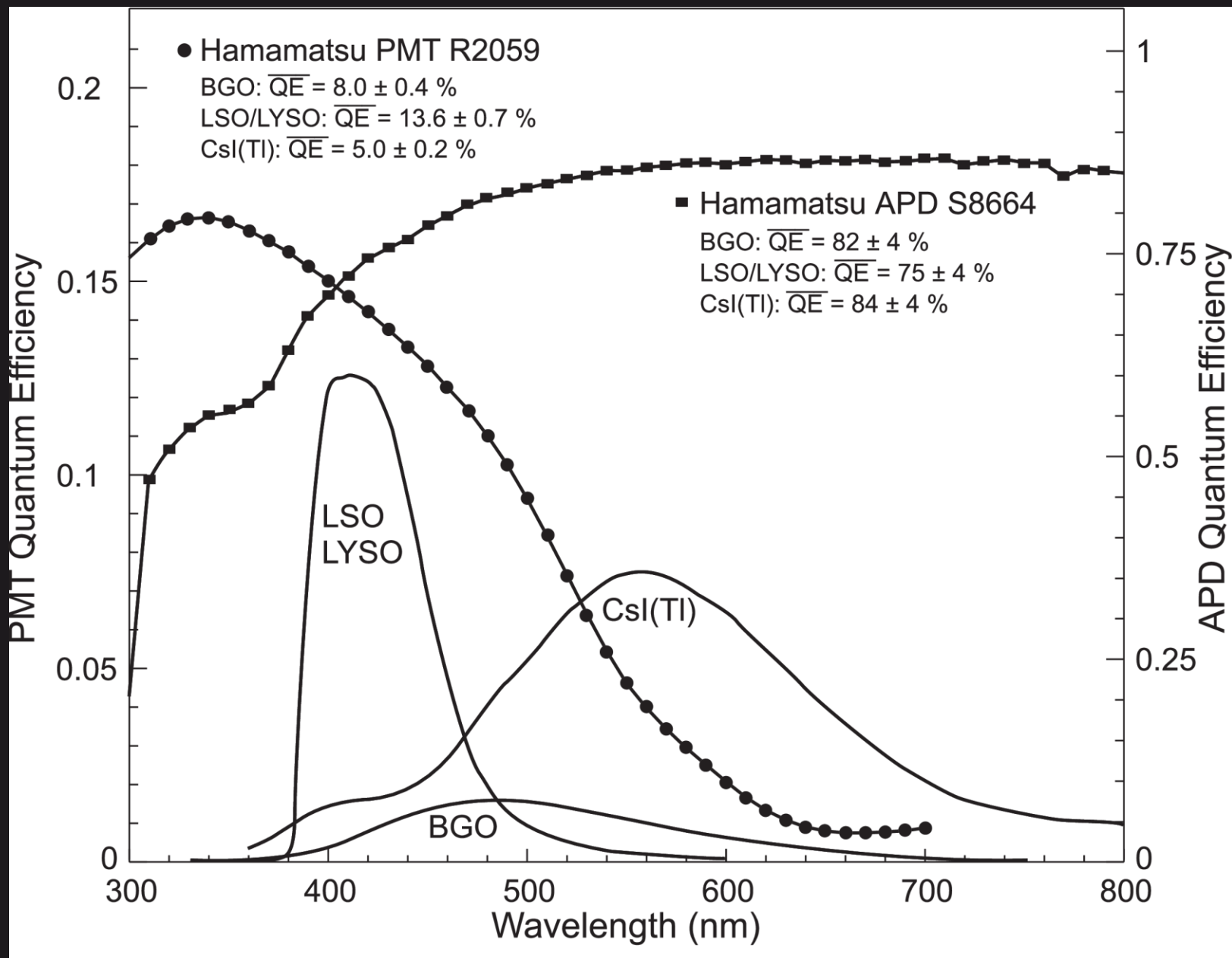
p-i-n



Avalanche photodiode (APD)

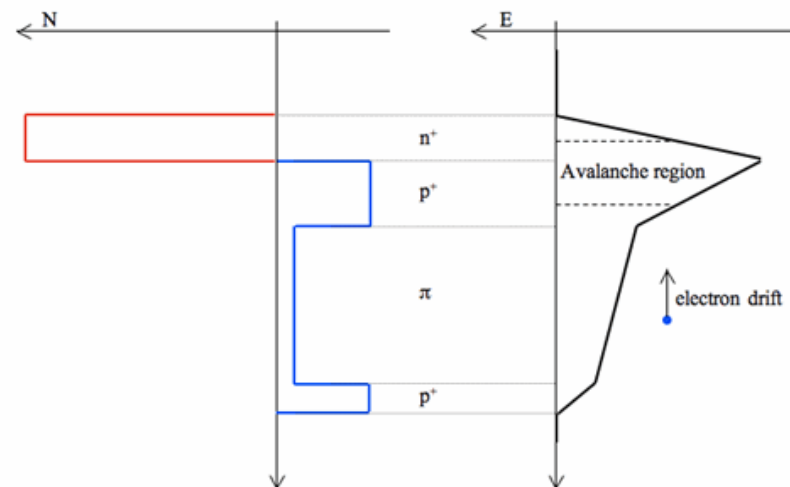
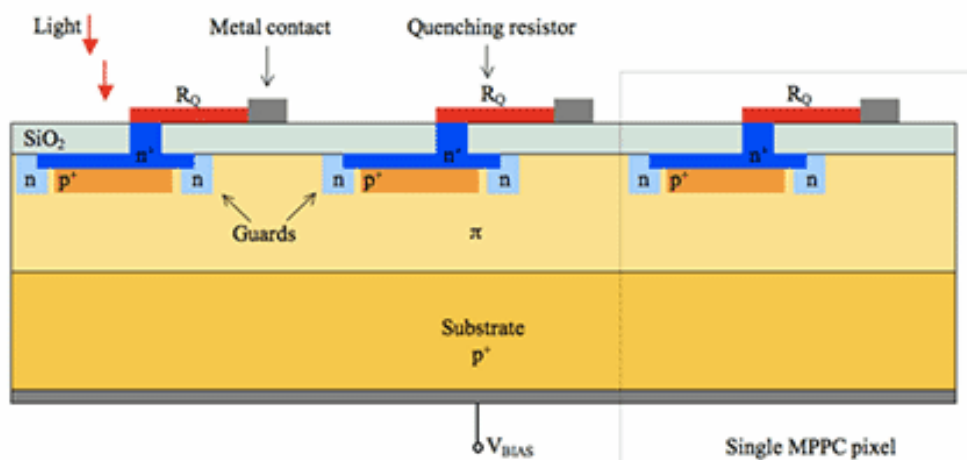
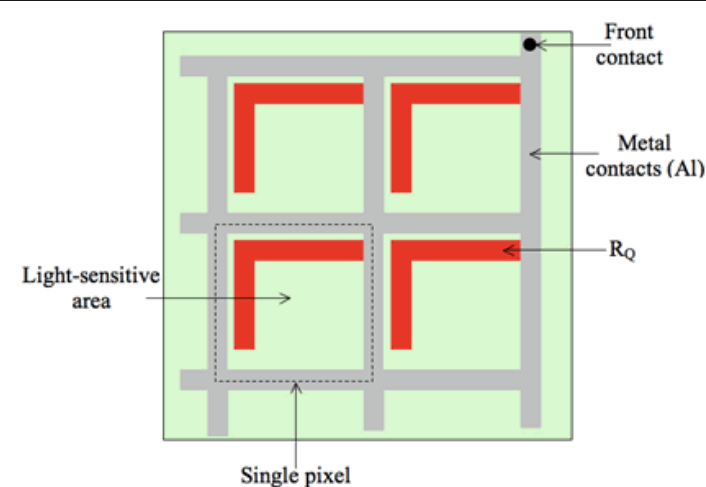
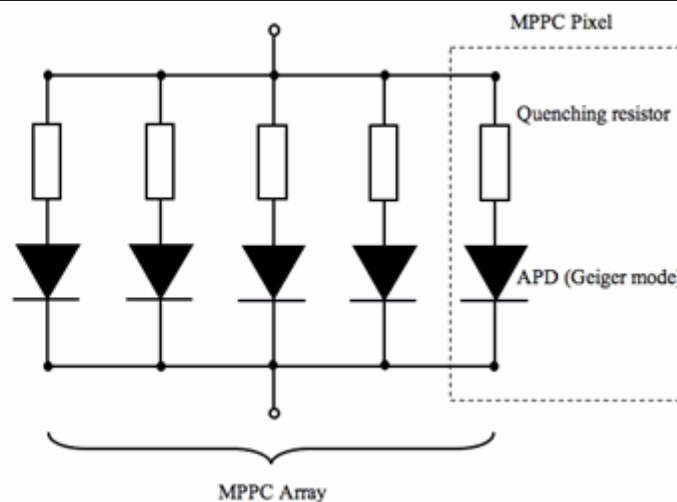
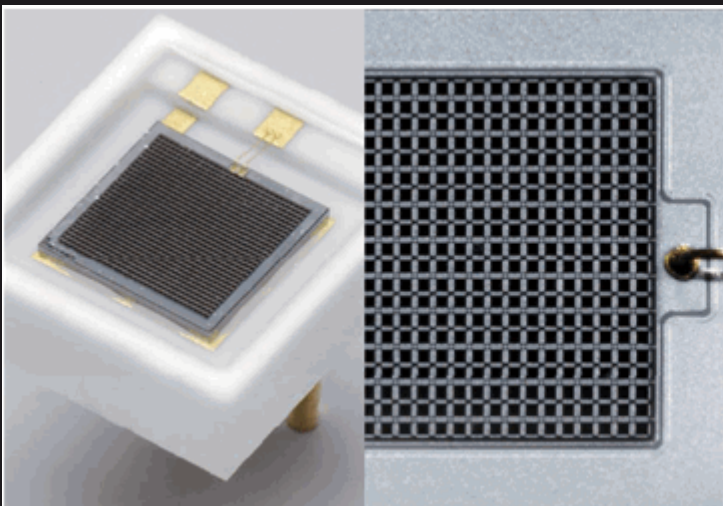


Possível operar APD em modo *breakdown*

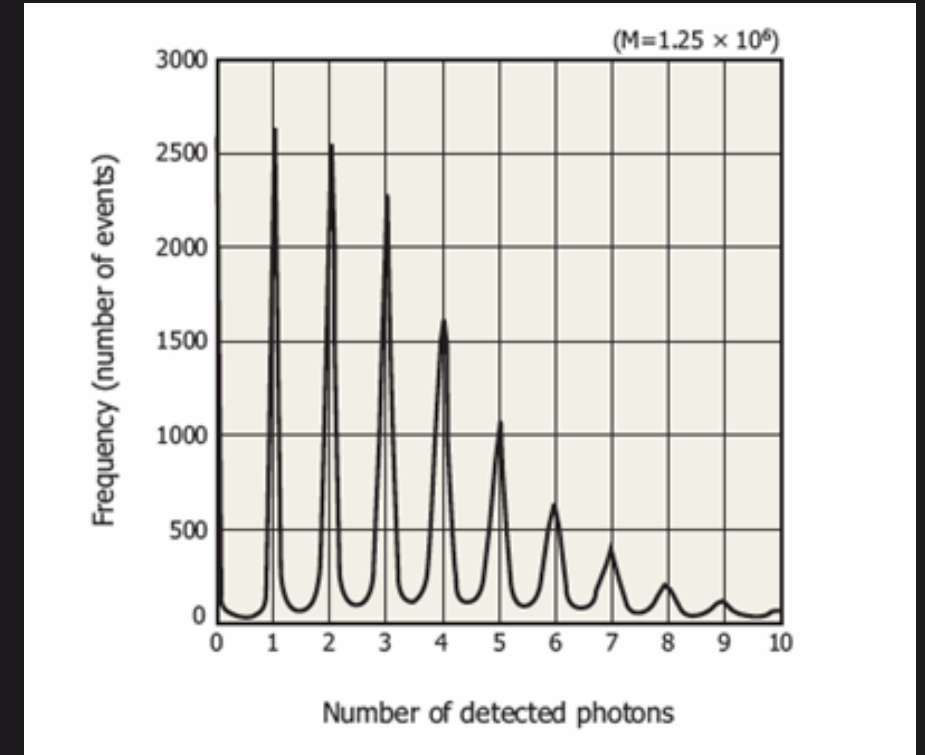
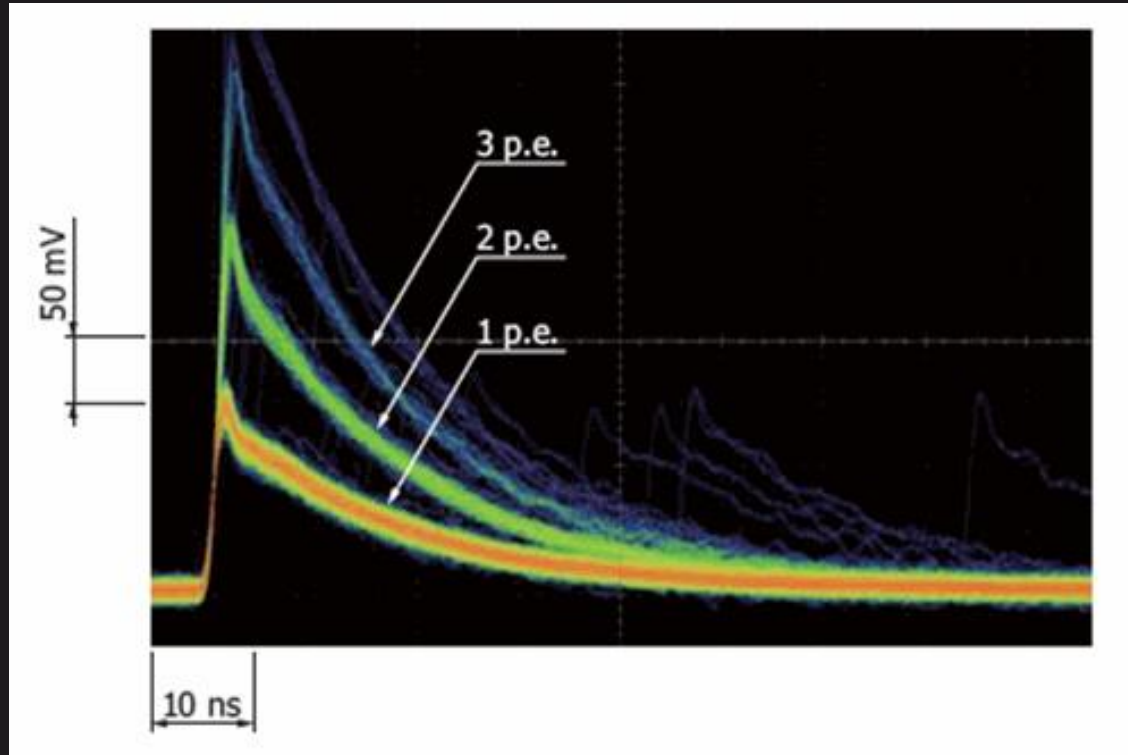


Multi-Pixel Photon Counter – SiPM

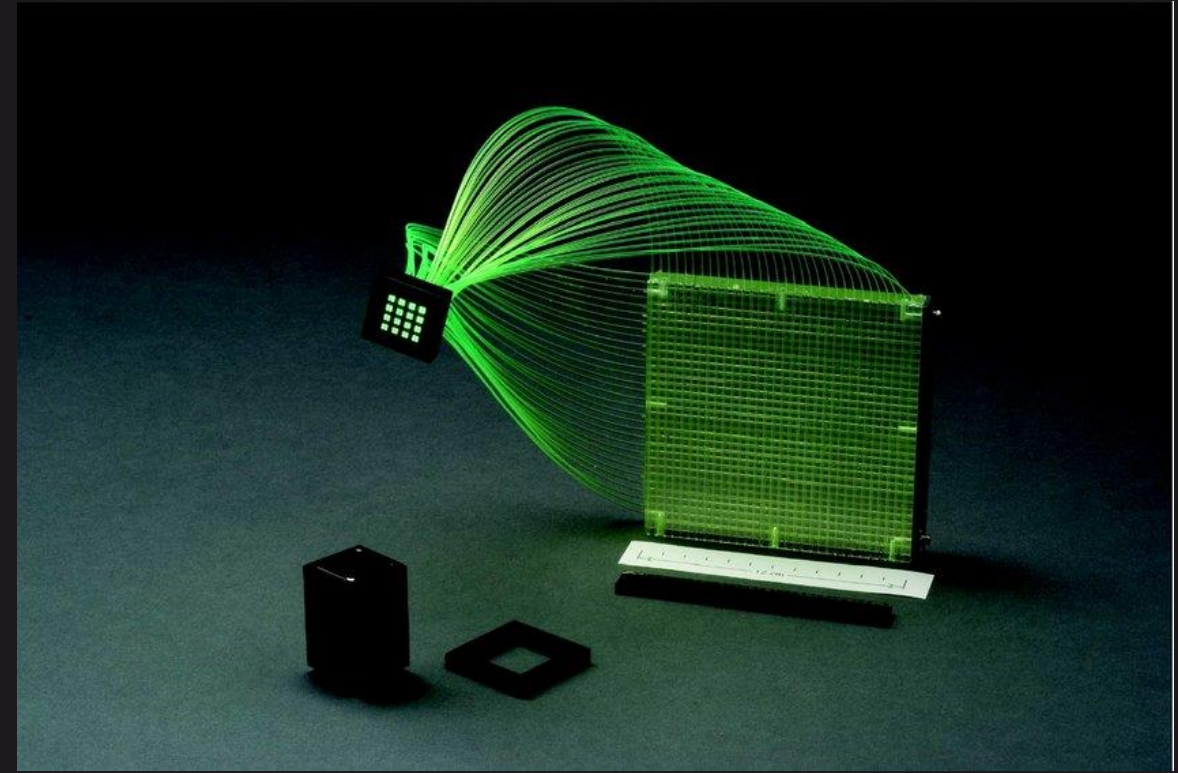
Operação em sobretensão à tensão de breakdown da APD

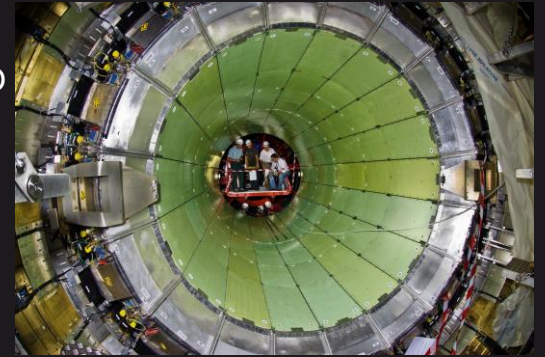
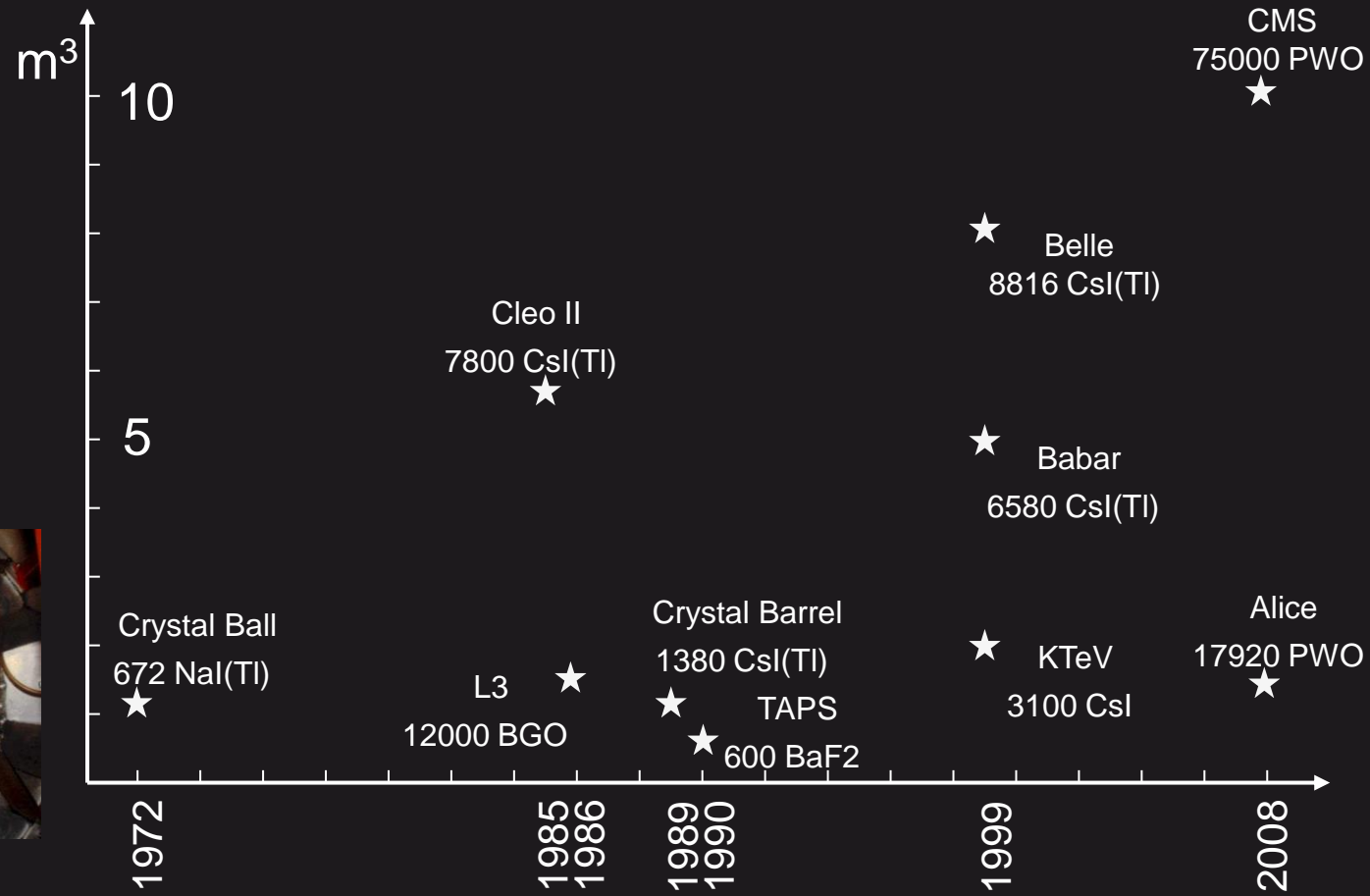
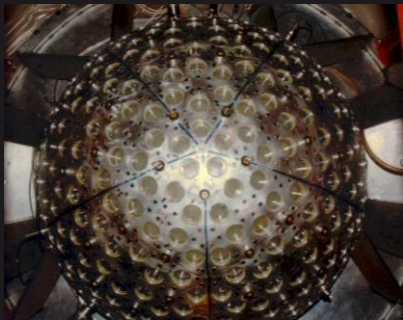


Multi-Pixel Photon Counter – SiPM

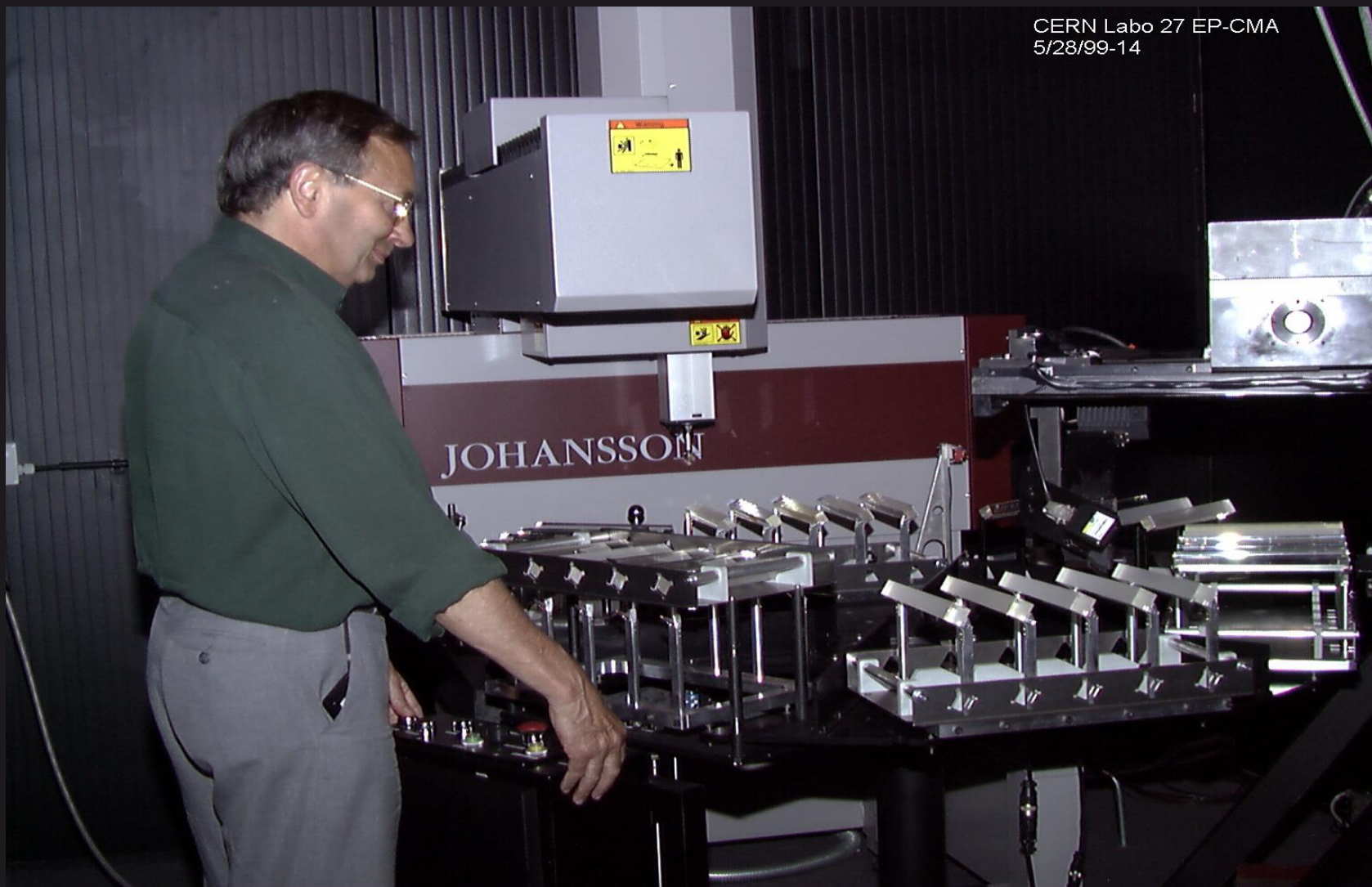


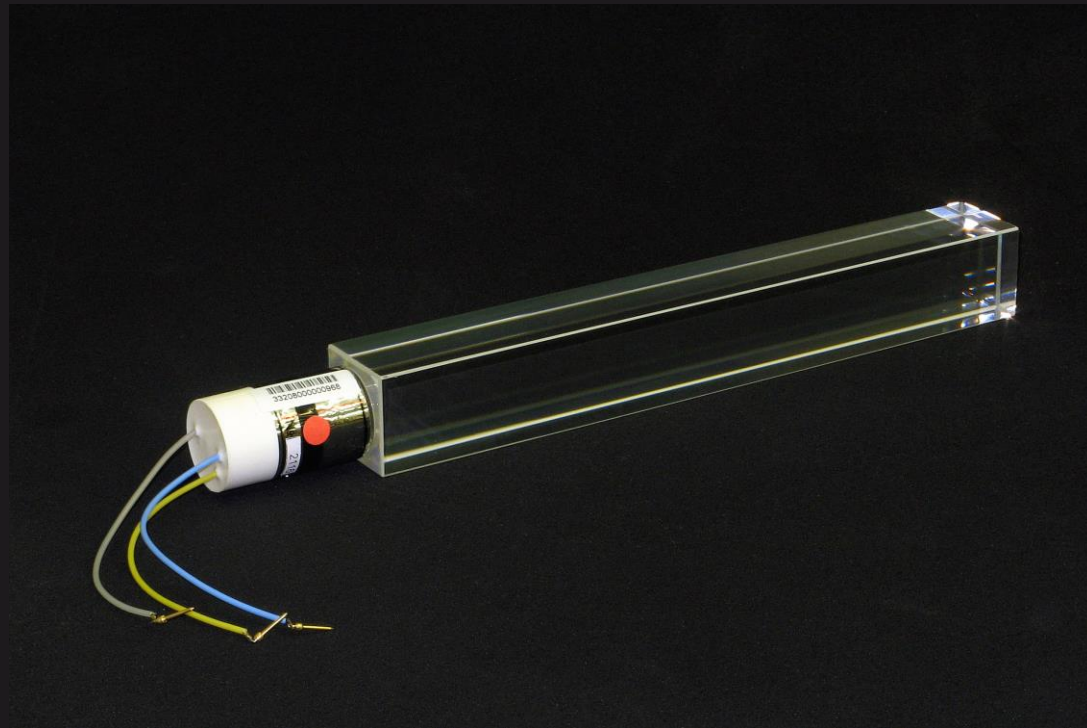
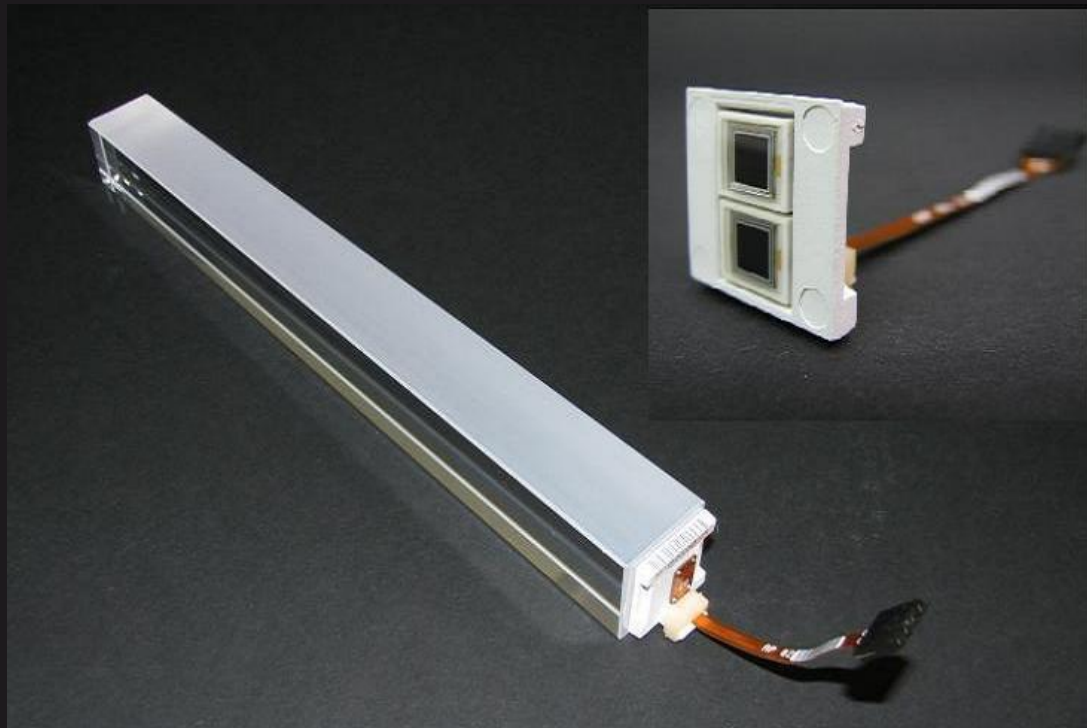
Detectors

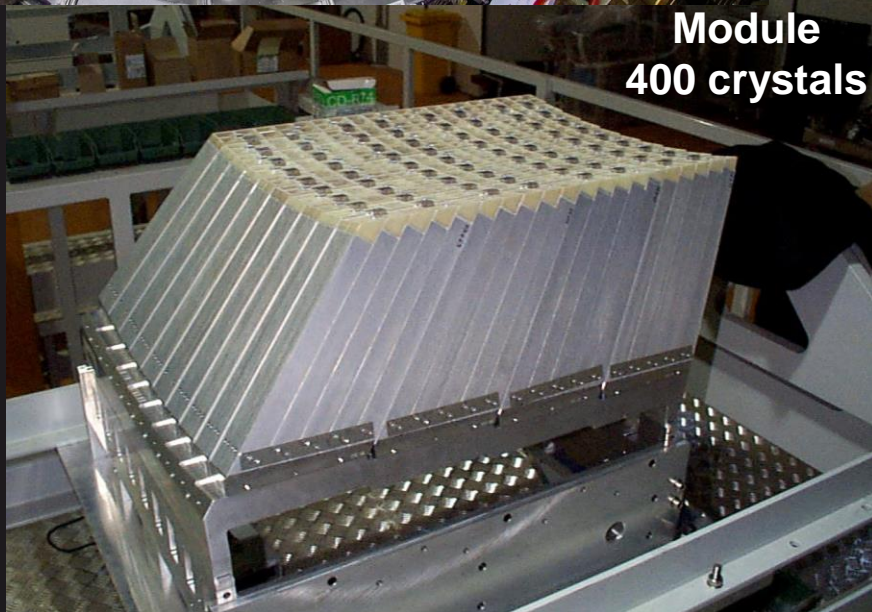
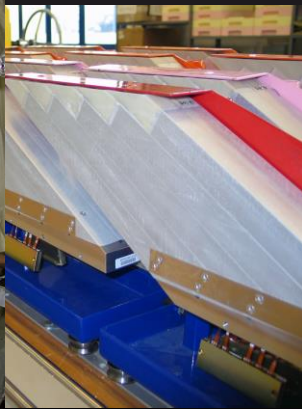
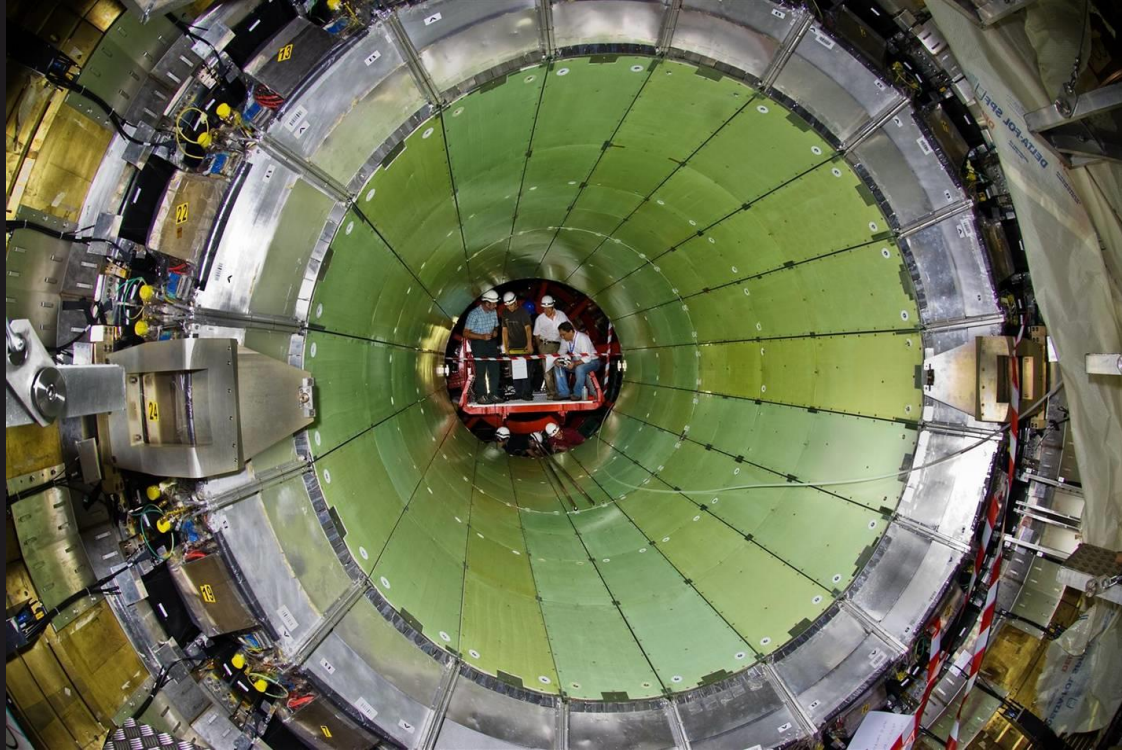




CERN Labo 27 EP-CMA
5/28/99-14







**Module
400 crystals**



**Supermodule
1700 crystals**



Total 36 Supermodules

