

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

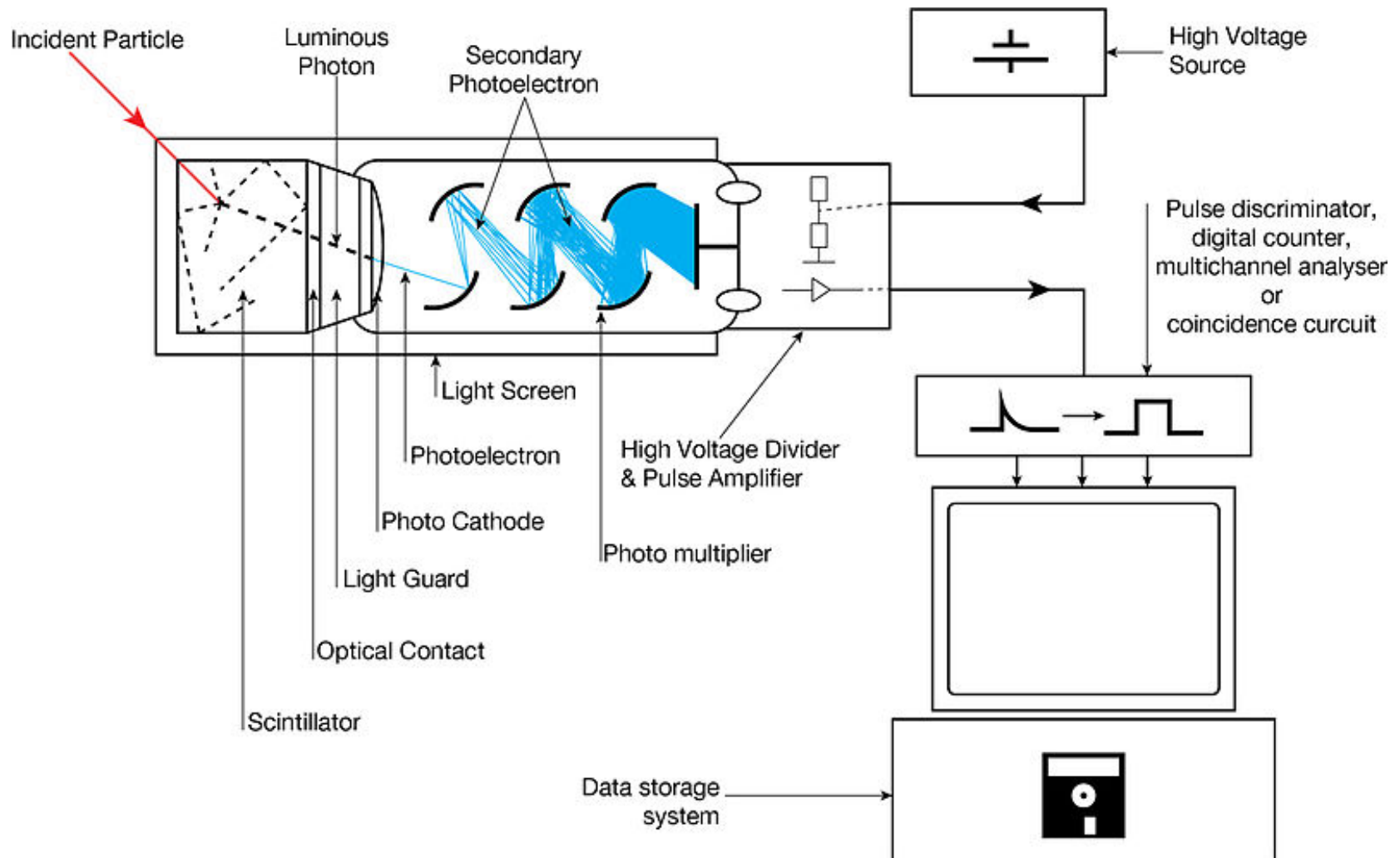
Un contador de centelleo es un instrumento para la detección y medición de la radiación ionizante.

Se trata de un centelleante que genera fotones de luz en respuesta a la radiación incidente, un tubo fotomultiplicador sensible que convierte la luz en una señal eléctrica y la electrónica necesaria para procesar la salida del tubo fotomultiplicador.

Contadores de centelleo son ampliamente utilizados porque pueden hacer **económicamente barato** con el buen eficiencia de cuántica y puede medir la **intensidad y la energía** de la radiación incidente.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros



detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Una centelleante es un material que exhibe el centelleo, la propiedad de **luminiscencia** cuando excitados por radiaciones ionizantes. Materiales luminiscentes, cuando golpeado por una partícula entrante, absorben su energía y deslumbrar, es decir, reemiten la energía absorbida en forma de luz. A veces, el estado excitado es metaestable, por lo que la relajación hacia atrás y fuera del estado excitado se retrasa (necesitando en cualquier lugar de unos pocos microsegundos a horas dependiendo del material): el proceso, a continuación, corresponde a uno de dos fenómenos, dependiendo del tipo de transición y por lo tanto la longitud de onda del fotón emitido óptico: retraso de fluorescencia o [phosphorescence](#), también llamado pos luminiscencia (**also called after-glow**).

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Centelleo es un destello de luz que se produce en un material transparente de un evento de ionización.

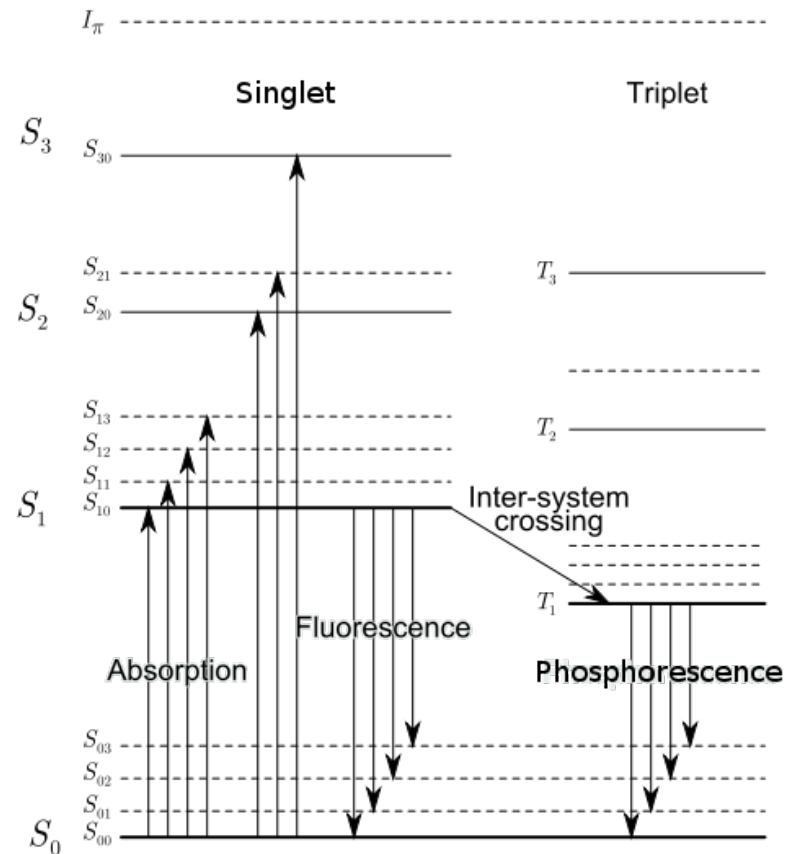
El proceso de centelleo es uno de luminiscencia que emite luz de un espectro característico tras la absorción de radiación. La radiación emitida es generalmente menos energética que la que absorbe. Centelleo es una propiedad inherente de molecular en conjugatedand moléculas orgánicas aromáticas y surge de la estructura electrónica de dichas moléculas. Centelleo también ocurre en muchos materiales inorgánicos, incluyendo Sales, gases y líquidos.

En las moléculas orgánicas centelleo es un producto de orbitales- π . Materiales orgánicos forman cristales moleculares donde las moléculas son ligadas por fuerzas de Van der Waals. El estado del terreno de ^{12}C is $1s^2 2s^2 2p^2$.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

En la teoría de enlace de Valencia, cuando el carbono forma compuestos, uno de los 2s se excita electrones en el estado de 2P, resultando en una configuración de $1s2s^1 2p^3$. Para describir las diferentes valencias del carbono, el orbital de cuatro electrones de Valencia, un 2s y 2P tres, se considera que ser mezclados o en varias configuraciones alternativas. Por ejemplo, en una configuración tetraédrica s y p3 orbital de se combinan para producir cuatro orbitales híbridos. En otra configuración, conocido como configuración trigonal, uno de los p - orbital (decir p_z) permanece inalterada y tres orbitales híbridos se producen por la mezcla de la s, p_x y p_y orbitales.



detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Luminiscencia es la emisión de luz por una sustancia **no resultante de calor**; por lo tanto es una forma de radiación de un **cuerpo frío**. Puede ser causada por reacciones **químicas, energía eléctrica**, los movimientos **subatómicos o estrés en un cristal**. Esto distingue luminiscencia de incandescencia, que es la luz emitida por una sustancia como resultado de la calefacción. Históricamente, **radiactividad fue pensado como una forma de "radio-luminiscencia"**, aunque **hoy se considera estar separados ya que involucra más de radiación electromagnética**. El término 'luminiscencia' fue introducido en 1888 por el Eilhard Wiedemann.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Propiedades de escintiladores

Hay muchas propiedades deseadas de escintiladores, tales como de **alta densidad**, velocidad de **operación rápida**, **bajo costo**, **dureza de la radiación**, **capacidad de producción** y **durabilidad de los parámetros operativos**. Alta densidad reduce el tamaño del material de chubascos para γ -cuantos y electrones de altas energías. Los fotones gama de Compton dispersos de γ -rayos de energía inferiores también se redujo a través de materiales de alta densidad. Esto resulta en alta segmentación del detector y lleva a **mejor resolución espacial**. Generalmente alta densidad materiales tienen iones pesados en la red, aumentando significativamente la fracción de foto ($\sim Z^4$). La mayor fracción de la foto es importante para algunas aplicaciones como la **tomografía por emisión de positrones**. Alta potencia de frenado para componente electromagnética de la radiación ionizante necesita mayor fracción de foto; Esto permite un detector compacto.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Alta velocidad de funcionamiento es necesario para la buena resolución de espectros. Precisión de **medición de tiempo** con un detector de centelleo es proporcional a $\sqrt{\tau_{sc}}$. Tiempos de **decaimiento corto** son importantes para la medición de intervalos de tiempo y para la operación en circuitos de **coincidencia rápida**. De alta densidad y rápido tiempo de respuesta pueden permitir la detección de eventos raros en física de partículas. Energía de la partícula depositada en el material de un centelleante es proporcional a la respuesta de la centelleante. Las partículas cargadas, iones y γ -cuantos tienen diferentes pistas cuando se mide su respuesta. Por lo tanto, escintiladores podrían **utilizarse para identificar varios tipos** de γ -cuantos y partículas en flujos de radiación mixta. Otra consideración de escintiladores es el costo de producirlos. La mayoría escintiladores de cristal requieren productos químicos de alta pureza y metales de tierras raras a veces que son bastante caros.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

La mayoría escintiladores de cristal requieren productos químicos de alta pureza y metales de tierras raras a veces que son bastante caros. No sólo los materiales son un gasto, sino muchos cristales requieren costosos hornos y casi seis meses de crecimiento y análisis de tiempo. Actualmente, se están investigando otros escintiladores para costos de reducción de la producción

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Varias otras propiedades también son deseables en una centelleante detector buena: una salida de gamma baja (es decir, una **alta eficiencia en la conversión de la energía de la radiación incidente en fotones de centelleo**), **transparencia propia centelleo de luz** (para buena colección luz), detección eficaz de la radiación está estudiada, **potencia de frenado alta**, **buena linealidad sobre** una amplia gama de la energía, **un tiempo de subida corta** para rápido (por ejemplo, aplicaciones de sincronización mediciones de coincidencia), **un tiempo de relajación corto para reducir el tiempo muerto** de detector y acomodar elevadas frecuencias de sucesos, la emisión en un rango espectral que empareja la sensibilidad espectral de PMT vigente (aunque a veces se pueden utilizar palancas de cambio de longitud de onda), **la índice de refracción cerca del vidrio** (≈ 1.5) para permitir un óptimo acoplamiento a la ventana de la PMT.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

La elección de un material centelleador práctica suele ser un compromiso entre las propiedades que mejor se adapte a una aplicación determinada.

Entre las propiedades mencionadas anteriormente, **la salida de luz es el más importante**, ya que afecta la eficiencia y la resolución del detector (la eficiencia es la proporción de partículas detectadas en el número total de partículas que incide sobre el detector, **la resolución de energía** es el **cociente de la anchura completa al máximo la mitad** de un pico de energía dado a **la posición de máximo** normalmente expresado en %).

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

La salida de luz es una fuerte función del tipo de partícula incidente o de fotones y su energía, que por lo tanto influye fuertemente en el tipo de material de centelleo que se utilizará para una aplicación particular. La presencia de efectos de amortiguamiento como resultado menor salida de luz (es decir, centelleo reducida eficiencia). Amortiguamiento([quenching effects](#)) se refiere a todos los procesos de **radiationless deexcitation** en la que la excitación se degrada principalmente al calor. El general eficiencia de producción de la señal del detector, sin embargo, también depende de la **eficiencia cuántica de la PMT** (típicamente ~ 30% en pico) y en la eficiencia de transmisión de la luz y la colección (que depende del tipo de material del reflector cubriendo la centelleante y guías luz, la longitud/forma de los guías de luz, cualquier luz de absorción, etc.).

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

La salida de luz se cuantifica a menudo como un número de fotones de centelleo producida por keV de energía depositada. Números típicos son (cuando la partícula incidente es un electrón): **de 40 fotones/keV NaI, ~ 10 fotones/keV para escintiladores plásticos y ~ 4 fotones/keV germanato de bismuto (BGO).**

Detectores de centelleo generalmente se asumen que es lineal. Esta suposición se basa en dos requisitos: **(1) que la salida de luz de la centelleante es proporcional a la energía de la radiación incidente;** **(2) que los impulsos eléctricos producción por el tubo fotomultiplicador es proporcional a la luz emitida de centelleo.** La Asunción de linealidad es una buena aproximación áspera, aunque pueden surgir desviaciones (especialmente pronunciado para partículas más pesado que el protón en energías bajas).

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Para la mayoría de escintiladores, salida de luz depende de la temperatura. Esta dependencia puede ignorada para aplicaciones de temperatura ya que es generalmente débil. La dependencia de la temperatura también es más débil para escintiladores orgánicas que para cristales inorgánicos, tales como ZnS(Ag) o BGO. La PMT acoplado también exhiben sensibilidad a la temperatura y puede dañarse si sometido a golpes. Por lo tanto, alta temperatura PMT rugoso se debe utilizar para aplicaciones de alta temperatura, alta vibración.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

La evolución temporal del número de fotones emitidos centelleo N en un evento de centelleo solo puede ser descrita a menudo por la superposición lineal de uno o dos decaes exponencial. Para dos decaes, tenemos el formulario:

$$N = A \exp\left(-\frac{t}{\tau_f}\right) + B \exp\left(-\frac{t}{\tau_s}\right)$$

donde τ_f y τ_s son el decaimiento (o pronto) y lento (o retardada) decaimiento constantes. Escintiladores muchos se caracterizan por 2 componentes: uno rápido (o pronto), el otro lento (o retardada). Mientras que el componente rápido generalmente domina, la amplitud relativa A y B los dos componentes dependen del material centellador.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Ambos de estos componentes pueden ser también una función de la pérdida de energía dE/dx . En casos donde esta dependencia de la pérdida de energía es fuerte, **la constante de tiempo de decaimiento general varía con el tipo de partícula incidente**. Tales escintiladores permiten pulso forma discriminación, es decir, identificación de partículas basado en las características de la decadencia del impulso eléctrico PMT. **Por ejemplo, cuando se utiliza BaF₂, los rayos γ típicamente excitan el componente rápido, mientras que las partículas α excitan el componente lento**: así, es posible identificarlos en función del tiempo de decaimiento de la señal de la PMT.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Tipos de centelladores

Escintiladores orgánicos son compuestos de hidrocarburos aromáticos que contienen estructuras de anillo de benceno interconectadas de diversas maneras. Su luminiscencia decae típicamente dentro de unos pocos nanosegundos. Algunos escintiladores orgánicos son cristales puros. Los tipos más comunes son antraceno ($C_{14}H_{10}$, decaimiento tiempo ≈ 30 ns), estilbeno ($C_{14}H_{12}$, tiempo de decaimiento de 4,5 ns) y naftaleno ($C_{10}H_8$, pocos tiempo de decaimiento de ns). Son muy durables, pero su respuesta es anisotrópico (que mima resolución de energía cuando la fuente no es colimada) y no puede ser fácilmente mecanizados, ni pueden crecer en tamaños grandes; por lo tanto no muy a menudo sirven. Antraceno tiene la salida de luz más alta de todos los escintiladores orgánicos y por lo tanto, es elegido como referencia: las salidas de luz de otros escintiladores a veces se expresan como un porcentaje de luz de antraceno.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Organic liquids

Estas son soluciones líquidas de uno o más escintiladores orgánicas en un solvente orgánico. Los típicos solutos son flúor como p-terphenyl ($C_{18}H_{14}$), PBD ($C_{20}H_{14}N_2O$), butil PBD ($C_{24}H_{22}N_2O$), palanca de cambios de PPO ($C_{15}H_{11}NO$) y la longitud de onda como POPOP ($C_{24}H_{16}N_2O$). Los disolventes más utilizados son el tolueno, xileno, benceno, phenylcyclohexane, triethylbenzene y Decalina. Escintiladores líquidos se cargan fácilmente con otros aditivos tales como (wavelength shifters) palancas de cambio de longitud de onda para que coincida con el rango de sensibilidad espectral de un particular PMT o ^{10}B para aumentar la eficiencia de detección de neutrones del contador de centelleo propia (ya ^{10}B tiene una alta interacción transversal con neutrones térmicos). Para muchos líquidos, oxígeno disuelto puede actuar como un agente de amortiguamiento y al reducido luz salida, de ahí la necesidad de sellar la solución en un recinto hermético, libre de oxígeno.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Plastic scintillators

El término "plástico centelleador" normalmente se refiere a un material centello en el que se suspende el principal emisor fluorescente, **llamado un fluor**, en la base de una matriz de polímero sólido. Mientras que esta combinación se logra normalmente aunque la disolución de fluor antes de polimerización a granel, el fluor directamente, a veces se asocia con el polímero o covalentemente a través de la coordinación, como es el caso con muchos Lió plásticos escintiladores. **Polietileno naphthalate** se ha encontrado que exhiben centelleo por sí mismo sin aditivos y se espera que reemplace escintiladores plásticos existentes debido a **un mayor rendimiento y menor precio**. Las ventajas de escintiladores plásticos incluyen bastante alta salida ligera y una señal relativamente rápida, con un tiempo de relajación de 2 a 4 nanosegundos, pero quizás la **mayor ventaja de escintiladores plásticos es su capacidad para estar en forma**, mediante el uso de moldes o por otros medios, en casi cualquier forma deseada con lo que es a menudo un alto grado de dura...

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Bases

Las bases más comunes son los aromáticos plásticos, polímeros con anillos aromáticos como grupos de pendiente a lo largo de la espina dorsal del polímero, entre los cuales **polyvinyltoluene** (PVT) y **poliestireno** (PS, Bicron) son los más destacados. Mientras que la base de fluorescencia en presencia de radiaciones ionizantes, su bajo rendimiento y transparencia despreciable para sus propias emisiones hacen el uso de **flúor necesario** en la construcción de un centelleante práctico. Aparte de los plásticos aromáticos, la base más común es **polimetilmetacrilato** (PMMA), que lleva dos ventajas sobre muchas otras bases: alta radiación ultravioleta y transparencia de luz visible y propiedades mecánicas y mayor durabilidad con respecto a la fragilidad. La falta de fluorescencia asociado con PMMA es compensada a menudo mediante la adición de un **cosolvente aromática**, generalmente de **naftalina**. Un plástico escintiladores basado en PMMA en esta manera cuenta con **transparencia a la propia radiación**, ayudando a garantizar una colección uniforme de la luz.

Otras bases comunes incluyen polymethyl polivinilo xileno (PVX), 2, 4-dimetil, 2,4,5-trimetil styrenes, difenil polivinilo, polivinilo naftaleno, tetrahydronaphthalene polivinilo y copolímeros de estas y otras bases.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Fluors

También conocido como **luminophors**, estos compuestos absorben el centelleo de la base y luego emiten en longitudes de onda mayores, convertir eficazmente la radiación ultravioleta de la base en la luz visible más fácilmente transferida. Aumentando la longitud de la atenuación puede lograrse mediante la adición de un segundo fluor, denominado un **desplazador (shifter)** de espectro o convertidor, resultan en la emisión de **luz azul o verde**.

Flúor comunes incluye hidrocarburos de polifenilo, oxazol y oxadiazole aryls, especialmente, n-terfenilo (PPP), 2,5-diphenyloxazole (PPO), 1,4-di-(5-phenyl-2-oxazolyl)-benzene (POPOP), 2-phenyl-5-(4-biphenylyl)-1,3,4-oxadiazole (PBD) y 2-(4'-tert-butylphenyl)-5-(4''-biphenylyl)-1,3,4-oxadiazole (B-PBD).

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Escintiladores inorgánicos

de cristales inorgánicos suelen ser cristales cultivados en hornos de alta temperatura, por ejemplo, los haluros de metales alcalinos, a menudo con una pequeña cantidad de impureza de activador. El más ampliamente utilizado es NaI (yoduro de sodio dopado con talio). Otros cristales de haluro de álcali inorgánico son: CsI(Tl), CsI(Na), CsI(pure), LCR, KI(Tl), LiI(Eu). Algunos cristales de álcali no incluyen: BaF₂, CaF₂(Eu), ZnS(Ag), CaWO₄, CdWO₄, YAG(Ce) (Y₃Al₅O₁₂(Ce)), GSO, LSO. (Para obtener más ejemplos, consulte también fósforo).

Productos recién desarrollados incluyen LaCl₃(Ce), cloruro de lantano dopado con cerio, así como un bromuro de lantano cerio dopado, LaBr₃(Ce). Son ambos muy higroscópico (es decir, dañado cuando se expone a la humedad en el aire) pero ofrecen excelente resolución de salida y la energía luz (63 γ de fotones/keV para LaBr₃(Ce) versus 38 fotones/keV γ para NaI(Tl)), una respuesta rápida (16 ns para LaBr₃(Ce) versus 230 ns NaI(Tl)[8]), excelente linealidad y una salida de luz muy estable sobre una amplia gama de temperaturas. Además LaBr₃(Ce) ofrece una mayor potencia de frenado para rayos γ (densidad de 5,08 g/cm³ frente 3.67 g/cm³ para NaI(Tl)[8]). LYSO (Lu_{1.8}Y_{0.2}SiO₅(Ce)) tiene una densidad incluso mayor (7,1 g/cm³, comparable al BGO), es no higroscópico y tiene una mayor salida de luz que BGO (32 fotones/keV γ), además de ser bastante rápido (tiempo de decaimiento de ns 41 versus 300 ns para BGO).

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Cristales inorgánicos

Una desventaja de algunos cristales inorgánicos, por ejemplo, **Nal**, es su higroscopicidad, una propiedad que les obliga a ser alojados en un recinto hermético para protegerlos de la humedad. CsI(Tl) y BaF_2 sólo son ligeramente higroscópico y normalmente no necesitan protección. LCR , NaI , $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$, $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ son higroscópicos, mientras BGO , $\text{CaF}_2(\text{Eu})$, LYSO y $\text{YAG}(\text{Ce})$ no son. Cristales inorgánicos pueden ser cortados a tamaños pequeños y dispuestos en una configuración de matriz con el fin de proporcionar sensibilidad de posición. Tales arreglos se utilizan a menudo en física médica o aplicaciones de seguridad para detectar rayos x o los rayos γ : materiales de alta impedancia, de alta densidad (**LYSO, BGO, 7.3, 7.13**) son normalmente preferidos para este tipo de aplicaciones. Centelleo en cristales inorgánicos es normalmente más lento que en los orgánicos, que normalmente van de 1,48 ns para $\text{ZnO}(\text{Ga})$ a 6000 ns para CaWO_4 . Excepciones son LCR (~ 5 ns), rápido BaF_2 (0,7 ns; el lento componente está a 630 ns), así como de los productos más nuevos ($\text{LaCl}_3(\text{Ce})$, 28 ns; $\text{LaBr}_3(\text{Cerum})$, 16 ns; LYSO , 41 ns).

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Escintiladores gaseosos

escintiladores gaseosos consisten en **nitrógeno y gases nobles helio, argón, criptón y xenón**, con helio y xenón recibir la mayor atención. El proceso de centelleo es debido a la desexcitación de los átomos individuales excitado por el pasaje de una partícula entrante. Esta la desexcitación es **muy rápida (~ 1 ns)**, así que la respuesta del detector es bastante rápida. Revestimiento de las paredes del recipiente con una palanca de longitud de onda es generalmente necesario como esos gases **emiten típicamente en el ultravioleta** y PMT responde mejor a la región visible de color azul-verde. En física nuclear, detectores gaseosos han servido para detectar **fragmentos de fisión o partículas con carga pesadas**.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Vidrios

los escintiladores de vidrio más comunes son **litio** activado de **cerio o silicatos de boro**. Como **litio y boro** tienen secciones grandes de neutrones, detectores de cristal están particularmente bien adaptados para la **detección de neutrones** (lentos) térmicas. Litio es más ampliamente utilizado de boro ya que tiene una **mayor liberación de energía la captura de un neutrón** y por lo tanto una mayor salida de luz. Escintiladores de vidrio son sin embargo los rayos así sensible a los electrones y γ (discriminación de altura de pulso puede utilizarse para la identificación de partículas). Ser muy robusto, también están adaptadas a condiciones ambientales ásperas. Su tiempo de respuesta es ≈ 10 ns, su luz de salida es sin embargo baja, típicamente $\approx 30\%$ de la de antraceno.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Respuesta a varias de las radiaciones

Contadores de centelleo no generalmente son ideales para la detección de iones pesados por tres razones:

1. el gran poder ionizante de iones pesados induce efectos de amortiguamiento que resultan en una menor potencia (por ejemplo, para las energías iguales, un protón producirá $1/4$ a $1/2$ la luz del electrón, mientras que alfas producirá sólo aproximadamente $1/10$ la luz;
2. el alto dE/dx también resulta en una reducción del componente rápido en relación con el componente lento, aumentando el tiempo muerto del detector;
3. fuerte no linealidad se observa en la respuesta del detector especialmente en energías inferiores.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Electrones

La eficiencia de detección de electrones es esencialmente el 100% para la mayoría escintiladores. Pero debido a electrones pueden hacer scatterings(sometimes backscatterings) de gran ángulo, salen el detector sin depositar su energía en ella. La dispersión de espalda es una función creciente del número atómico Z del material centelleador. Escintiladores orgánicas, teniendo un Z más bajo que los cristales inorgánicos, por lo tanto son más adecuadas para la detección de partículas de baja energía (< 10 MeV) beta. La situación es diferente para los electrones de alta energía: ya que en su mayoría pierden su energía por bremsstrahlung a altas energías, un material de mayor- Z es más adecuado para la detección de los fotones bremsstrahlung y la producción de la ducha electromagnética que puede inducir.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Rayos Gamma

High-Z materiales, cristales inorgánicos por ejemplo, son los más adecuados para la detección de rayos gamma. Las tres formas básicas que un rayo gamma interactúa con la materia son: **el efecto fotoeléctrico, Compton dispersión y producción de pares**. El fotón es completamente absorbido en el efecto fotoeléctrico y producción de pares, mientras que sólo parcial energía se deposita en cualquier dado Compton dispersión. **La sección transversal para el proceso fotoeléctrico es proporcional a Z^5** , que para la producción de pares proporcional a Z^2 , Considerando que Compton dispersión va aproximadamente como Z . Un material de alta impedancia, por tanto, favorece a los dos procesos anteriores, permitiendo la detección de la energía del rayo gamma.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Neutrones

El neutrón no está cargado no interactúan a través de la fuerza de Coulomb y por lo tanto no ionizar el material de centelleo. Primero deben transferir parte o toda su energía a través de la fuerza a un núcleo atómico cargado. El núcleo cargado positivamente y produce ionización. Rápido de neutrones (generalmente $> 0,5$ MeV) dependen principalmente del protón de retroceso en (n, p) reacciones; materiales ricos en hidrógeno, por ejemplo, plásticos escintiladores, por lo tanto son más adecuadas para su detección. Los neutrones lentos dependen de las reacciones nucleares como (n, γ) o (n, α) reacciones, para producir la ionización. Su recorrido libre medio es bastante grande a menos que el material centelleador contiene núclidos que tiene una alta sección eficaz para estas reacciones nucleares como son ^6Li o ^{10}B . Materiales tales como vidrio o LiI(Eu) de silicatos son particularmente apropiados para la detección de neutrones (térmicas) lentos.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

La siguiente es una lista de cristales inorgánicos utilizados:

- BaF₂ o bario fluoruro: BaF₂ contiene un muy rápido y un componente lento. La luz del centelleo rápido es emitida en la banda de UV (220 nm) y tiene un 0,7 decaimiento ns hora (menor tiempo de decaimiento para cualquier centelleante), mientras que el centelleo lento luz se emite en longitudes de onda más largas (310 nm) y tiene un 630 ns tiempo de decaimiento. Se utiliza para aplicaciones de sincronización rápida, así como las aplicaciones para las cuales es necesario discriminación de forma de pulso. El rendimiento ligero de BaF₂ es aproximadamente 12 fotones/keV. BaF₂ no es higroscópico.

- CaF₂(Eu) o fluoruro de calcio dopado con europio: el material no es higroscópico, tiene un 940 ns tiempo de desintegración y es relativamente baja-Z. La segunda propiedad es ideal para la detección de partículas de baja energía de β por retrodispersión baja, pero no es muy adecuado para la detección de γ . Capas delgadas de CaF₂(Eu) también han sido utilizadas con una gruesa losa de NaI para hacer phoswiches capaz de discriminar entre α , β y γ partículas.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

- BGO o bismuto germanato: germanato de bismuto tiene una mayor potencia de frenado, pero un menor rendimiento óptico que nai. Suele ser detectores de coincidencia usada para la detección de dos rayos gamma emitidos en maquinas de tomografía emisión positrones tras la aniquilación de positrones.
- CdWO_4 o tungsteno cadmio: una alta densidad, alto número atómico centellador con un tiempo muy largo (14 μs) y relativamente alta potencia de luz (aproximadamente 1/3 de la de NaI(Tl)). CdWO_4 se utiliza habitualmente para la detección de rayos x (CT scanners). Tener muy poca contaminación 228a y 226, también es conveniente para contar las aplicaciones de baja actividad.
- CaWO_4 o calcio tungsteno.
- CsI(Tl) o cesio yoduro dopado con talio: estos cristales son uno de los más brillantes escintiladores. La máxima longitud de onda de emisión de luz es bastante alta (550 nm), sin embargo, haciendo CsI(Tl) mejor acoplado PMT roja mejorada o fotodiodos. CsI(Tl) es sólo ligeramente higroscópico y no suele requerir un recinto hermético.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Yoduro de CsI(Na) o cesio dopado con sodio: el cristal es menos brillante que CsI(Tl), pero comparable en la salida de luz a NaI. La longitud de onda de emisión máxima está a 420 nm, bien adaptado a la sensibilidad del fotocátodo de bialkali PMT. Tiene un tiempo de decaimiento ligeramente más corto que el CsI(Tl) (630 ns frente a 1000 ns para CsI(Tl)). CsI(Na) es higroscópico y necesita una caja hermética para protección contra la humedad.

CsI: yoduro de cesio undoped emite predominantemente a 315 nm, sólo está ligeramente higroscópico y tiene un tiempo muy corto (16 ns), lo que es adecuado para aplicaciones de sincronización rápida. Sin embargo, es bastante baja, la salida de luz y muy sensible a las variaciones de temperatura.

LaBr₃(Ce) (o bromuro de lantano dopado con cerio): una mejor alternativa (novela) a NaI; más denso, más eficiente, mucho más rápido (con un tiempo de relajación sobre ~ 20ns), ofrece una resolución de energía superior debido a su muy alta potencia de luz. Además, la salida de luz es muy estable y muy alta sobre una muy amplia gama de temperaturas, lo que es especialmente atractivo para aplicaciones de alta temperatura. LaBr₃(Ce) es muy higroscópico.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Cloruro de lantano dopado con cerio (o $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$): muy rápido, de alta potencia de luz. $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$ es una alternativa más barata a $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$. También es muy higroscópico.

PbWO_4 o tungsteno de plomo: debido a su alta-Z, PbWO_4 es conveniente para aplicaciones donde una potencia de frenado alta es necesario (por ejemplo, detección de rayos γ).

LuI_3 o Yoduro de lutecio

LSO o lutecio oxyorthosilicate (Lu_2SiO_5): usado en tomografía por emisión de positrones porque exhibe propiedades similares al bismuto germanato (BGO), pero con una luz mayor rendimiento. Su única desventaja es el fondo intrínseco de la desintegración beta de ^{176}Lu natural.

LYSO ($\text{Lu}_{1.8}\text{Y}_{0.2}\text{SiO}_5(\text{Ce})$): comparable en la densidad al BGO, pero mucho más rápido y con mucha mayor salida de luz; excelente para aplicaciones de procesamiento de imágenes médicas. LYSO es no higroscópico.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Yoduro de NaI o sodio dopado con talio: nai es por lejos el material centelleador más ampliamente utilizado. Está disponible en forma cristalina única o la forma más accidentada de policristalino (utilizado en entornos de alta vibración, por ejemplo, wireline logging en la industria petrolera). Otras aplicaciones incluyen la medicina nuclear, investigación básica, monitoreo ambiental y reconocimientos aéreos. NAI es muy higroscópico y debe ubicarse en un recinto hermético.

YAG(CE) o itrio granate de aluminio: YAG(Ce) es no higroscópico. La longitud de onda de emisión máxima es de 550 nm, PMT igualado a rojo-resistente o fotodiodos. Es relativamente rápido (tiempo de decaimiento de 70 ns). Su salida de la luz es aproximadamente 1/3 de la de nai. El material presenta algunas propiedades que lo hacen particularmente atractivo para las aplicaciones de la microscopía electrónica de barrido (eficiencia de conversión electrón por ejemplo, alta, buena resolución, robustez mecánica y larga vida útil).

Sulfuro de ZnS(Ag) o cinc: ZnS(Ag) es uno de los mayores escintiladores inorgánicos (el primer experimento haciendo uso de un centelleante por Sir William Crookes (1903) involucrados una pantalla de ZnS). Sólo está disponible como un polvo policristalino, sin embargo. Por lo tanto, su uso está limitado a delgadas pantallas utilizadas principalmente para la detección de partículas α .

ZnWO₄ o cinco tungsteno.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Los tubos de fotomultiplicador (fotomultiplicadores o PMT para abreviar), miembros de la clase de tubos de vacío y más específicamente fototubos de vacío, son extremadamente sensibles detectores de luz en los rangos infrarrojo-cercano, visibles y ultravioletas del espectro electromagnético. Estos detectores multiplican la corriente producida por luz por incidente tanto como **100 millones de veces**, en varias etapas de dínodo, (por ejemplo) permitiendo fotones individuales ser detectado cuando el flujo incidente de luz es muy bajo. A diferencia de la mayoría de los **tubos de vacío, no son obsoletos**. La combinación de alta ganancia, poco ruido, respuesta de alta frecuencia o, equivalentemente, respuesta ultrarrápida y gran parte de la colección ha ganado fotomultiplicadores un lugar esencial en nuclear y física de partículas, astronomía, diagnósticos médicos, incluyendo exámenes de sangre, imágenes médicas.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Efecto fotoeléctrico

La primera demostración del efecto fotoeléctrico se llevó a cabo en 1887 por Heinrich Hertz, quien demostró con luz ultravioleta. Importante para aplicaciones prácticas, Elster y Geitel dos años más tarde demostraron el mismo efecto usando luz visible golpear metales alcalinos (potasio y sodio). La adición de cesio, otro metal alcalino, ha permitido la gama de longitudes de onda sensibles a ampliarse hacia longitudes de onda más largas en la parte roja del espectro visible. Históricamente, el efecto fotoeléctrico se asocia con Albert Einstein, quien invocó el fenómeno para establecer el principio fundamental de la mecánica cuántica, en 1905, un logro que Einstein recibió el Premio Nobel de 1921. Vale la pena señalar que Heinrich Hertz, trabajando 18 años antes, no había reconocido que la energía cinética de los electrones emitidos es independiente de la intensidad óptica pero proporcional a la frecuencia. Este hecho implicó un discreto...

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Emisión secundaria.

El fenómeno de emisión secundaria fue primeras invenciones limitadas a puramente electrónico (es decir, aquellos que carecen de fotosensibilidad). En 1902, Austin y Starke informaron de que las superficies de metal afectadas por haces de electrones emiten un mayor número de electrones que eran incidentes. La aplicación de la emisión secundaria descubierta a la amplificación de señales fue propuesta sólo después **de la I Guerra Mundial por el científico de Westinghouse Joseph Slepian en una patente de 1919.**

detectores de partículas

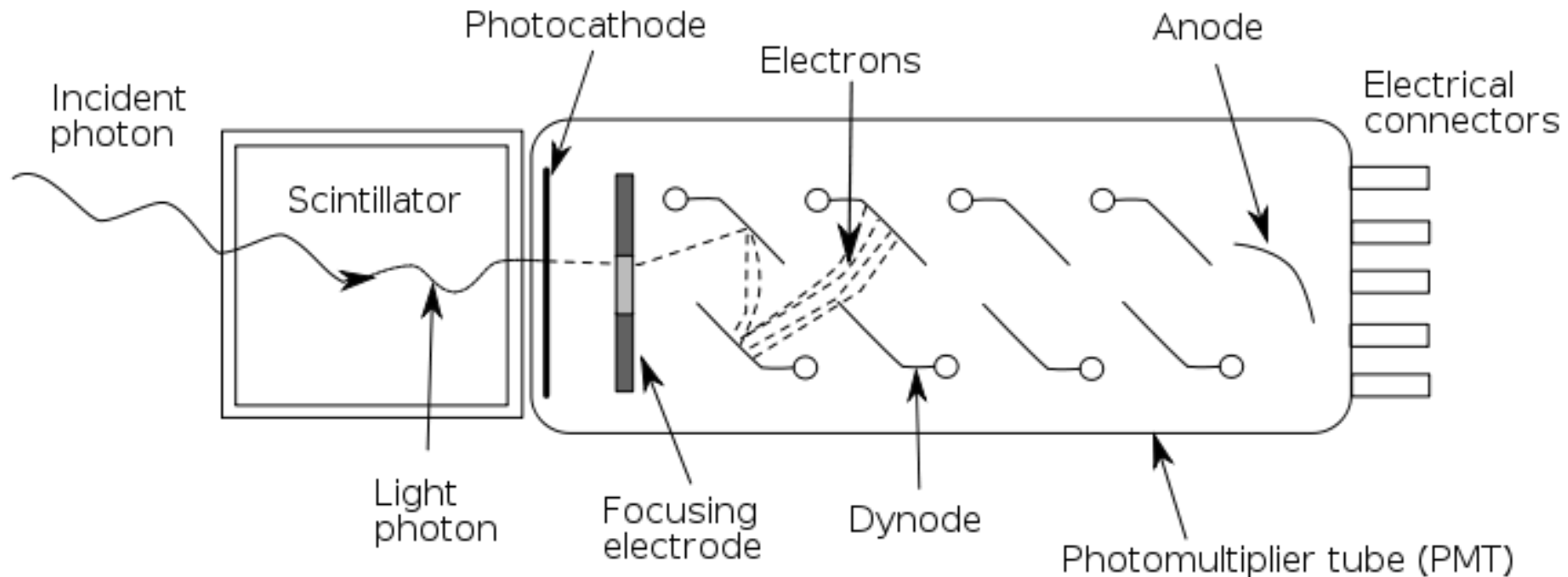
Contadores de centello y calorímetros

La primera fotomultiplicador.

La carrera hacia una cámara de televisión electrónica práctica. Los ingredientes para inventar el fotomultiplicador llegaban juntos durante la década de 1920 como el ritmo de las tecnologías de tubo de vacío acelerado. El objetivo principal para muchos, si no más, los trabajadores fue la necesidad de una tecnología de cámara de televisión práctico. Televisión había sido perseguido con prototipos primitivos durante décadas antes de la introducción de 1934 de la primera cámara práctica (el iconoscopio). Las cámaras de televisión prototipo temprano carecían de sensibilidad. Tecnología de fotomultiplicador fue perseguida para habilitar a los tubos de cámara de televisión, como el iconoscopio y (después) del todo, ser lo suficientemente sensible como para ser práctico. Por lo que el escenario estaba listo para combinar los dos fenómenos de fotoemisión (es decir, el efecto fotoeléctrico) con la emisión de la secundaria, ambos de que ya había sido estudiado y adecuadamente entendían, para crear un fotomultiplicador práctico.

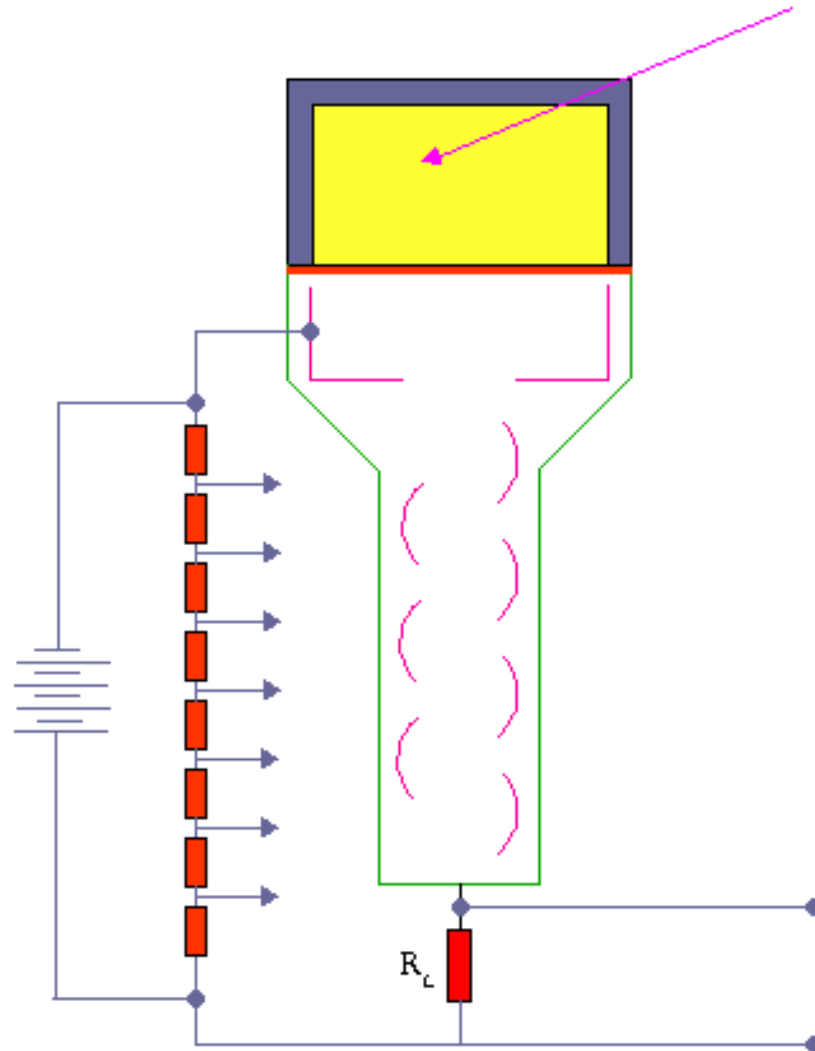
detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros



detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros



detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Ag-O-Cs: also called **S1**. Transmission-mode, sensitive from 300–1200 nm. High dark current; used mainly in near-infrared, with the photocathode cooled.

GaAs:Cs: caesium-activated [gallium arsenide](#). Flat response from 300 to 850 nm, fading towards ultraviolet and to 930 nm.

InGaAs:Cs: caesium-activated [indium gallium arsenide](#). Higher infrared sensitivity than GaAs:Cs. Between 900–1000 nm much higher [signal-to-noise ratio](#) than Ag-O-Cs.

Sb-Cs: caesium-activated [antimony](#). Used for reflective mode photocathodes. Response range from ultraviolet to visible. Widely used.

Bialkali (Sb-K-Cs, Sb-Rb-Cs): caesium-activated antimony-rubidium or antimony-potassium alloy. Similar to Sb:Cs, with higher sensitivity and lower noise. Can be used for transmission-mode; favorable response to a NaI:TI [scintillator](#) flashes makes them widely used in [gamma spectroscopy](#) and radiation detection.

High-temperature bialkali (Na-K-Sb): can operate up to 175 °C, used in [well logging](#). Low dark current at room temperature.

Multialkali (Na-K-Sb-Cs): wide spectral response from ultraviolet to near-infrared; special cathode processing can extend range to 930 nm. Used in broadband [spectrophotometers](#).

Solar-blind (Cs-Te, Cs-I): sensitive to vacuum-UV and ultraviolet. Insensitive to visible light and infrared (CsTe has cutoff at 320 nm, CsI at 200 nm).

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Window materials

The windows of the photomultipliers act as wavelength filters; this may be irrelevant if the cutoff wavelengths are outside of the application range or outside of the photocathode sensitivity range, but special care has to be taken for uncommon wavelengths.

Borosilicate glass is commonly used for near-infrared to about 300 nm. Glass with very low content of [potassium](#) can be used with alkali photocathodes to lower the background radiation from the [potassium-40](#) isotope.

Ultraviolet glass transmits visible and ultraviolet down to 185 nm. Used in spectroscopy.

Synthetic silica transmits down to 160 nm, absorbs less UV than fused silica. Different thermal expansion than [kovar](#) (and than borosilicate glass that's expansion-matched to kovar), a graded seal needed between the window and the rest of the tube. The seal is vulnerable to mechanical shocks.

Magnesium fluoride transmits ultraviolet down to 115 nm. [Hygroscopic](#), though less than other alkali halides usable for UV windows.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Consideraciones de uso. Tubos fotomultiplicadores normalmente utilizan 1000 a 2000 voltios para acelerar electrones dentro de la cadena de dinodos. La tensión más negativa es conectada al cátodo, y el voltaje más positivo se conecta al ánodo. Fuentes de alto voltaje negativos (con el terminal positivo conectado a tierra) son preferidos, porque esta configuración permite la fotocorriente a medirse en el lado de baja tensión del circuito de amplificación por circuitos electrónicos posteriores funcionamiento en baja tensión. Tensiones se distribuyen a los dinodos por un divisor de tensión resistivo, aunque las variaciones como diseños activos (con transistores o diodos) son posibles. El diseño del divisor, que influye el tiempo de respuesta o aumento de la frecuencia, puede seleccionarse para adaptarse a diferentes aplicaciones. Algunos instrumentos que utilizan fotomultiplicadores tienen disposiciones para variar el voltaje del ánodo para controlar la ganancia del sistema.

Si bien alimentado (energizado), fotomultiplicadores deben ser protegidos de la luz ambiental para evitar su destrucción a través de sobre excitación. Si se utiliza en un lugar con fuertes campos magnéticos, que caminos de electrón de la curva, dirigir los electrones de las dinodos y causar la pérdida de ganancia, fotomultiplicadores generalmente están protegidos por una capa de metal de μ . Este escudo magnético a menudo se mantiene al potencial del cátodo. Cuando esto sucede, la pantalla externa debe también ser aislada eléctricamente debido a la alta tensión en ella. Fotomultiplicadores con grandes distancias entre el fotocátodo y el primer dinodo son especialmente sensibles a campos magnéticos.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Fotodiodo de avalancha.

Un fotodiodo de avalancha (APD) es un dispositivo electrónico semiconductor altamente sensible que aprovecha el efecto fotoeléctrico para convertir luz en electricidad. APDs pueden considerarse como fotodetectores que proporcionan una primera etapa incorporada de ganancia a través de la multiplicación de la avalancha. Desde un punto de vista funcional, pueden considerarse como los semiconductores analógicos a fotomultiplicadores. Aplicando un alto voltaje de polarización inverso (normalmente 100-200 V en silicio), APDs muestran un efecto de ganancia actual interno (alrededor de 100) debido a la ionización de impacto (efecto de avalancha). Sin embargo, algunos silicio APDs emplean alternativos dopaje y técnicas en comparación con APDs tradicionales que permiten una mayor tensión a aplicar (> 1500 V) antes de alcanza el desglose de la pipa y por lo tanto una operación mayor ganancia (> 1000). En general, cuanto mayor sea la tensión inversa mayor será la ganancia. Entre las distintas expresiones para el factor de multiplicación de APD (M), una expresión instructiva viene dada por la fórmula.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

$$M = \frac{1}{1 - \int_0^L \alpha(x) dx}$$

donde L es el límite de espacio de carga de electrones y es el coeficiente de multiplicación de electrones (y huecos). Este coeficiente tiene una fuerte dependencia de la fuerza de campo eléctrico, la temperatura y el perfil de dopaje. Ya que la ganancia de la APD varía fuertemente con la polarización inversa aplicada y la temperatura, es necesario controlar la tensión inversa para mantener una ganancia estable. Los fotodiodos de avalancha por lo tanto son más sensibles en comparación con otros fotodiodos semiconductores.

Si muy alta ganancia es necesaria (10^5 a 10^6), ciertos APDs (diodos de avalancha de fotón único) pueden utilizarse con una tensión inversa por encima de la tensión de ruptura de la APD. En este caso, la APD necesita tener su corriente de señal limitada y disminuyó rápidamente. Se han utilizado técnicas de amortiguamiento actuales activas y pasivas para este propósito. APD que operan en este régimen de alta ganancia está en modo Geiger. Este modo es especialmente útil para la detección de los fotones individuales siempre que la tasa de eventos de recuento oscuro es suficientemente baja.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Exceso de ruido.

Como se mencionó anteriormente, este es el ruido debido al proceso de multiplicación a una ganancia, M y se denota por $F(M)$ y a menudo puede ser expresada como:

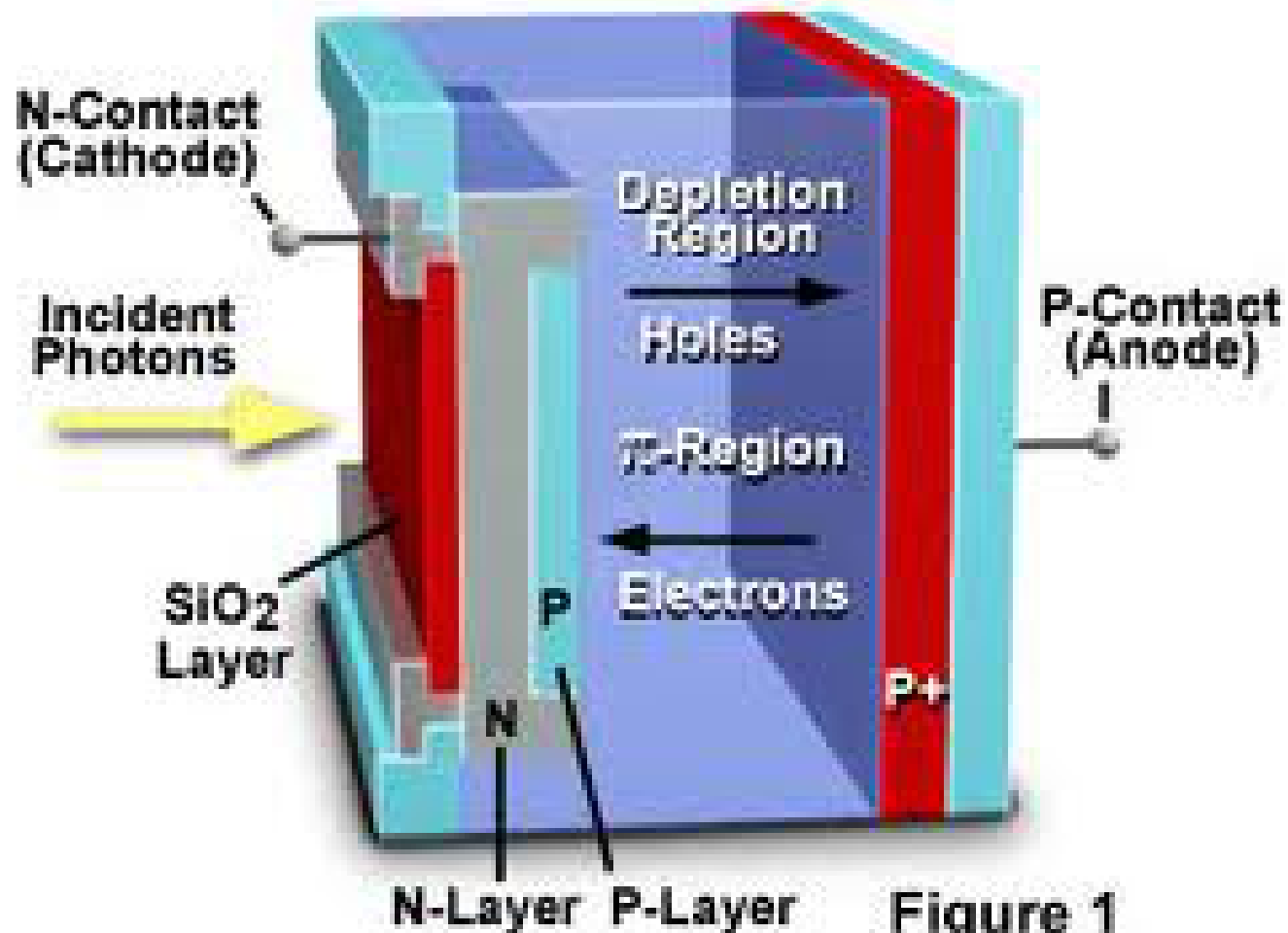
$$F = \kappa M + \left(2 - \frac{1}{M}\right) (1 - \kappa)$$

donde es la proporción de la tasa de ionización de impacto agujero a la de electrones. Para un dispositivo de multiplicación de electrones se da por la tasa de ionización de impacto agujero dividida por la tasa de ionización de impacto de electrones. Es deseable tener una gran asimetría entre estas tasas para minimizar el $F(M)$, ya $F(M)$ es uno de los principales factores que limitan, entre otras cosas, la resolución de la mejor posible energía obtenible.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

Avalanche Photodiode



detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

En optoelectrónica el término diodo de avalancha de Single-Photon (SPAD) (también conocido como modo Geiger APD o G-APD) identifica una clase de detectores de estado sólido basado en un cruce de p-n inverso parcial en que un portador foto generada puede desencadenar una avalancha actual debido al mecanismo de la ionización de impacto. Este dispositivo es capaz de detectar señales de baja intensidad (hasta el fotón único) y la señal de los tiempos de llegada de los fotones con una variación de unas pocas decenas de picosegundos.

SPADs, como el fotodiodo de avalancha (APD), aprovechan la corriente de avalancha desencadenados por fotones de un cruce de p-n inversa sesgada para detectar una radiación incidente. La diferencia fundamental entre SPAD y APD es que SPADs están diseñados específicamente para funcionar con un voltaje de polarización inverso muy por encima de la tensión de ruptura (por el contrario que APDS operan a un sesgo menor que la tensión de ruptura). Este tipo de operación también se llama modo Geiger en la literatura, de la analogía con el contador Geiger.

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros

detectores de partículas

Contadores de centello y calorímetros