

La propuesta, evalúa la viabilidad de desarrollar reactores para la generación de luminiscencia, y por su incidencia en células fotovoltaicas, de electricidad. Se desarrollaría usando radioisótopos livianos (no capaces de reacción nuclear en cadena), cuya emisión de partículas beta (β) y/o gamma (γ), excitaría cristales centelleantes, que proveen la cobertura requerida, para suprimir el escape de radiación nociva.

Diseño de reactores de radioisótopos integrados para producir luz por centelleo y conectable a células fotovoltaicas para la producción de electricidad

Copyright © Alfredo Bennun
Miembro de la Sociedad Nuclear Americana
Electo 1969

Resumen

Los radioisótopos, estarían cubiertos por una densa capa de substancias centelleantes, que, una vez excitadas, son capaces de agotar la energía de radiación emitiendo luz, cual será dirigida a través de espejos para energizar fotocélulas y así generar electricidad.

Esta posible fabricación, puede minimizar la posibilidad de fugas radiactivas dañinas, permitiendo el uso de cantidades más chicas de radioisótopos, sin tener que recurrir a un pesado escudo de plomo. Esto abre la puerta para varias aplicaciones, por ejemplo, para cubrir la energía necesaria de una casa o de un edificio. Las condiciones de seguridad y funcionamiento deberían ser aplicadas, por ejemplo, recurriendo a mantener el chip en una caja de metal conectada, por fibra óptica, para derivar la luz o la energía eléctrica, a los lugares donde las aplicaciones necesitadas de energía serán localizadas.

La propulsión de las velas solares, por una planta de luminiscencia nuclear, podría lograr una continua aceleración para llegar a un significativo porcentaje de la velocidad de la luz, lo cual podría permitir viajes interestelares. La tecnología de transferencia de luz puede fácilmente permitir la miniaturización, con costos de desarrollo muy bajos por permitir prototipos de tamaño de juguetes. Un ejemplo, reemplazando la batería en un modelo de avión por una radio con un chip centelleante, permite al avión volar por meses sin aterrizar, para controlar el clima, cultivos, etc.

Más aun, este modelo se podría usar para el planeamiento y desarrollo de aviones más largos, con necesidades reducidas de combustible. Similarmente, decreciendo el uso de combustible en muchas aplicaciones se previene una contaminación considerable de CO₂. La generación de luz artificial barata, no solo mejoraría la producción de comida pero con un incremento en la fotosíntesis también decrecería CO₂. Estos chips, también aparecen para ofrecer una considerable ventaja, como una adecuada fuente de energía para la nanotecnología.

Introducción

$^{89}\text{Sr}^{38}$ decae: $1.481 \text{ MeV/átomo} \approx 1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$.

1 Curie (Ci) $\approx 3.7 \times 10^{10} \text{ des/seg}$.

Actividad $^{89}\text{Sr}^{38}$: $\geq 2.67 \times 10^6 \text{ Ci/89 gr}$.

La potencia, energía liberada de una fuente beta de 1 Curie es $0.006 \text{ Watts} \times 2.67 \times 10^6 \text{ Ci/89 gr} = 1.6 \times 10^4 \text{ Watts/89gr}$ de $^{89}\text{Sr}^{38} = 57.6 \text{ MW/h/mol}$ Vida media: 50.55 días.

Vida completa: 2426 hs.: $1.39 \times 10^6 \text{ MWh/kg}$ de $^{89}\text{Sr}^{38}$. 39,78 MW/h

Equivalencia de energía de 89 g de $^{89}\text{Sr}^{38}$ en toneladas métricas de carbón: 48.99 toneladas.

2.37×10^{10} desintegraciones (des)/seg.

será por lo tanto de $5,9 \times 10^{-3} \text{ joule/seg}$, o sea 0,006 Watts.

Radioisótopos livianos como este, no conllevan reacción nuclear en cadena, o sea, no son explosivos.

Los diseños de los reactores nucleares, envuelven grandes cantidades de materiales radiactivos, cuales requieren un pesado escudo de plomo. Los radioisótopos livianos podrían ser usados como fuentes duraderas sostenibles de energía, cuales no conllevan, como los radioisótopos pesados, el peligro de generar una reacción en cadena. Las fuentes nucleares livianas, están en uso en el presente generando, por transferencia de calor, energía eléctrica.

Sin embargo, la transferencia de calor por reactores nucleares, conllevan soluciones mecánicas de ingeniería cuales, debido a su complejidad, pueden solamente ser escaladas a tamaños mucho mayores que los posibles, con cristales centelleantes de radioisótopos.

La transferencia de calor, esta sujeta a una pérdida de calor más grande que la transferencia de luz, debido a la fricción entre el movimiento de las partes constituyentes.

El antecedente científico ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ esta bien establecido, y el papel solo intenta transmitir la viabilidad tecnológica y la relativa ventaja de su adopción. Las mejoras de usar la metodología de centelleo, no es solamente que la transferencia de luz no requiere dispositivos mecánicos, sino que también reduce las necesidades de escudos, si la sustancia centelleante es usada como un escudo protector de los radioisótopos.

La protección por el apéndice centelleante, puede aumentar diseñando espejos envolviendo los cristales radiactivos, permitiendo solamente a la luz emerger. Estos cristales radiactivos transductores de energía, podrían ser desarrollados para hacer el papel de nano-reactores.

Antecedentes Teóricos

Tabla 1: Sustancias centelleantes y rango de emisión fluorescente: NaI con 1% Tl (Talio) puede lograrse mas eficientemente a través de añadir sustancias centelleantes, algunas están listadas.

- Cristal hecho de: NaI con 1% Talio (Tl) mas dimetil POPOP, etc.
- Cristal excitado con γ y / o $\beta \rightarrow$ cristal $I^*I \rightarrow hv$ (o uv).

Acrónimo	Función Centelleante	Maxima emisión Fluorescente [nm]
BBOT	Prim. Y sec.	425-435
Butyl-PBD	Primaria	360-365
PBD	Primaria	360-370
PPO	Primaria	360-365
Bis-MSB	Secundaria	420-430
Dimetil POPOP	Secundaria	425-430

Ensayo empírico

Para prevenir fugas radiactivas, es posible realizar un ensayo empírico; encajonando un radioisótopo básico, en un cristal centelleante con forma de un tubo cilíndrico, de diámetros progresivamente largos, hasta que la radiación del básico deja de ser registrada mediante un detector Geiser. La tabla 3, permite calcular el remanente de energía de cualquier cuenta con fuga, las cuales debieran haber decrecido a través de su absorción parcial. Un ensayo directo de cualquier energía, en las cuentas remanentes, puede realizarse aplicando una metodología simple de interpolación de páginas de papel, entre la fuente y el detector Geiser.

El periodo de desintegración-media, permite expresar que la fracción del núcleo inicial remanente después de n periodos es $(t^{1/2})^n$. Por lo tanto, después de 7 periodos de vida media, la cantidad remanente de material radiactivo es menor al 1%.

Tabla 2: Seleccionando radioisótopos de acuerdo a una deseada vida-media: Curie: 3.10^{10} desintegraciones por Segundo. Monitoreo Ambientales Radiactivos (REM, por sus siglas en ingles): 1 rad x Q. Rad: Unidad de radiación absorbida, dosis equivalente a 100 ergs por gramo de materia absorbida. Q=Q factor de calidad; Energía capturada por unidad largo. Dosis anual limite de la piel: 50,000 mrem. Estos radioisótopos, deben ser mantenidos en fuentes selladas.

Radioisótopo	Vida media	β (MeV)	γ (MeV)	(millirem/hr)**	(millicurie)**
Estroncio-89	50.52 (days)	1.481			
Sodio-22	2.6 years	0.55i, 0.58 and 1.8	0.51 and 1.27	370	13.3
Cobalto-60	5.3 years	0.31	1.17 and 1.33	48	14.4
Cobalto-57	271.8 days		<0.13		
Estroncio-90 decae	29 years	0.54		740	0
→Itrio-89	3 days	2.26			
Cesio-137*	33 years	0.52 and 1.18	0.66	777	4.1

* Decae a vida corta ^{133}Ba ** Tasa de dosis de 30 cm desde la fuente. Cadmium 109, vida media 453 días, muestra un periodo de vida intermedio.

^{89}Sr y ^{90}Sr son riesgos bien conocidos, porque reemplaza la función fisiológica del calcio en el cuerpo. Por lo tanto, la protección hacia la contaminación en adición a radiación es esencial, el radioisótopo debería ser sellado en un vidrio constituido por un cristal centelleante o, cuando sea necesario, por una cobertura adicional de vidrio irrompible.

Tabla 3: Alcanzando distancia de β y γ : La energía de beta decrece a través de átomos excitados, ionizando moléculas y desacelerando electrones, cuales deben generar rayos-x. Los efectos de los rayos-x o γ , son los de transferir energía a electrones con efectos fotoeléctricos, ionizando moléculas y la interacción Compton. Si un centelleo de espesor dado, no elimina completamente la energía de las partículas pero, por ejemplo, retiene desde 1 MeV solamente un 0.01 MeV, el efecto remanente correspondería a este en la tabla hasta un nivel mas bajo de energía.

Energía de β [MeV]	Aire [m]	Tejido corporal (cm)	Aluminio [mm]
0.01	0.023	0.00027	-
0.5	1.5	0.18	0.59
1	4.2	0.5	1.5
3	12.6	1.5	5.6
Energía de γ [MeV]	-	Tejido corporal (cm)	Plomo [mm]
0.01	-	0.131	0.076
0.1	-	4.05	1.2
1	-	9.8	8.9

Tabla 4: Esta tecnología parece ser la adecuada para reemplazar toda clase de baterías de larga duración, y el centelleo ^{89}Sr reactor, de tamaño similar al de un paquete de batería para un avión modelo (500 g), y permitiría 24 horas de constante operación para el clima, cultivos, actividades ilegales, etc., durante todo un mes.

Tecnología	Consumo [Wh]
Avión Modelo	500
Computadora personal	350
Impresora láser	100
Monitor 14''	75
TV 14''	53
Teléfono	16
Radio AM/FM	9

Cálculos de peso-ratio entre cristales centelleantes radiactivos y para minimizar las fugas radiactivas dañinas

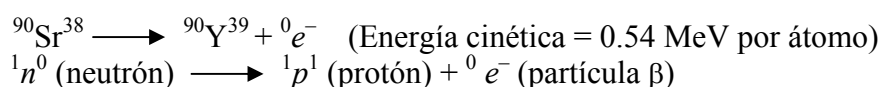
Cuando una partícula energética, o un fotón (radiación), atraviesa un cristal centelleante como NaI (peso molecular, mw = 150), algunos de los átomos a lo largo de la trayectoria adquieren excitación y, posteriormente, regresan a su estado con una emisión de luz.

Cada molécula centelleante sustrae de la energía cinética, de las partículas β de choque, o vienen excitadas por la radiación γ , un promedio de 30 a 50 electrón Volt (eV), como la energía de excitación requerida para la emisión de un fotón.

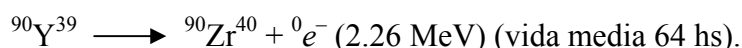
Puede ser calculado, si un cristal centelleante contiene suficientes moléculas para chocar, a través de transferencia de energía, la mayor cantidad posible de trayectorias de las partículas β o radiación γ .

Los pasos para calcular: a. Reacción, b. Desintegración por segundo por mol, c. Peso de centelleo para prevenir eficientemente fugas radiactivas (calculadas como las requeridas para la emisión de fotones), d. Rendimiento de energía.

a. Reacción desintegradora para ^{90}Sr



En una subsecuente reacción $-\beta$:



Energía total por átomo = $0.54 \text{ MeV} + 2.26 \text{ MeV} = 2.8 \text{ MeV}$

b. Desintegración por Segundo por mol de $^{90}\text{Sr}^{38}$

Para ambas partículas β , desde el decrecimiento de $^{90}\text{Sr}^{38}$: 2.8 MeV dividido por alrededor de, i.e., 40eV (transferencia de energía durante cada colisión) = 7×10^4 fotones por trayectoria partícula β , requiere un número equivalente de átomos en el cristal centelleante. Vida media: $0.5 \text{ mol} = 3.01 \times 10^{23}$ desintegraciones / 29 años (28.8

años) = $1.05 \times 10^{22} / 1 \text{ año} = 1.05 \times 10^{22} / 3.1536 \times 10^7 \text{ seg.} = 3.32 \times 10^{14}$ desintegraciones / seg. Por lo tanto, multiplicando por 7×10^4 el rendimiento de los fotones, el número de fotones emitidos / seg. / mol es de $^{90}\text{Sr}^{38}$ es 2.331×10^{19} .

c. Peso de centelleo para prevenir eficientemente fugas radiactivas del $^{90}\text{Sr}^{38}$

Asumiendo una eficiencia de colisión, de 1 partícula β por cada 4000 de moléculas centelleantes durante la trayectoria de la partícula, la relación sería: 2.3×10^{19} fotones emitidos \times 4000 (corrección para la eficiencia de colisión) = 9.2×10^{22} n° de centelleo requerida en átomos NaI. Ratio molar de átomos requeridos de NaI: $9.2 \times 10^{22} / 6.02 \times 10^{23} = 15.3 \%$ (ratio molar NaI/ $^{90}\text{Sr}^{38}$: $150/90=1.66$) = 25.4 % de 90g = 23g de NaI privarían desde su energía cinética y sería una trampa para las partículas β emitidas por 90g de $^{90}\text{Sr}^{38}$.

d. Rendimiento de la energía de $^{90}\text{Sr}^{38}$

Energía de la vida media total por mol = $3.012 \times 10^{23} \times 2.8 \text{ MeV} = 8.432 \times 10^{23}$ MeV.

$$\frac{8.432 \times 10^{23} \text{ MeV}}{28.8 \text{ yr}} \times \frac{1 \text{ yr}}{8.76 \times 10^3 \text{ h}} = \frac{3.342 \times 10^{18} \text{ MeV}}{\text{h}} \text{ o } \frac{4.45 \times 10^{-20} \text{ kWh}}{\text{MeV}} \Rightarrow 0.15 \text{ kWh/mol}$$

a. Reacción desintegradora para $^{89}\text{Sr}^{38}$

$^{89}\text{Sr}^{38} \longrightarrow ^{89}\text{Sr}^{39} + ^0_1e^-$, (β -Radiación ($^0_1e^-$) = 1.481 MeV/átomo).

Vida media: 50.55 días. Actividad: ≥ 500 mCi/g en el Oak Ridge Nat. Lab. El reactor Descarga con pureza radiactiva: 99% (mas el peso adicional de los átomos no radiactivos).

b. Desintegración por segundo por mol de $^{89}\text{Sr}^{38}$

$1.481 \text{ MeV}/40\text{eV} = 3.7 \times 10^4$ fotones. Vida media: $0.5 \text{ mol} = 3.01 \times 10^{23}$ desintegraciones / 50.55 días = $5.957 \times 10^{21} / \text{día} = 5.957 \times 10^{21} / 8.64 \times 10^4 \text{ seg.} = 9.89 \times 10^{16}$ desintegraciones / seg.; dividido por 1 Curie (Ci) $\approx 3.7 \times 10^{10}$ des/seg. Actividad $^{89}\text{Sr}^{38}$ $9.89 \times 10^{16} / 3.7 \times 10^{10}$ des/seg. = 2.67×10^6 Ci/89 gr.

Multiplicando 9.89×10^{16} des/seg. por 3.7×10^4 el número de fotones emitidos es $3.66 \times 10^{21} / \text{seg.} / \text{mol de } ^{89}\text{Sr}^{38}$.

c. Peso de centelleo para prevenir eficientemente fugas radiactivas del $^{89}\text{Sr}^{38}$

Asumiendo una eficiencia de colisión de partícula β por cada 500 moléculas centelleantes durante la trayectoria de una partícula, la relación sería de: 3.66×10^{21} fotones emitidos \times 500 (corrección para la eficiencia de colisión) = 1.83×10^{24} n° de NaI átomos centelleantes requeridos. Ratio molar de los átomos requeridos de NaI: $1.83 \times 10^{24} / 6.02 \times 10^{23} = 303 \%$ (ratio molar NaI/ $^{89}\text{Sr}^{38}$: $150/90=1.66$) = 503 % para 89 g = 450 g de NaI. Eliminación: después de $7 \times 50.55 \text{ d} = 354$ días solamente queda un remanente del 1 % de radiactividad.

d. Rendimiento de energía de $^{89}\text{Sr}^{38}$

Vida media = $223.5 \text{ MWh} / 50.52 \text{ d.} = 4.424 \text{ MWh} / \text{día} = 184.3 \text{ kWh} / \text{kg de } ^{89}\text{Sr}^{38}$.

$$\frac{3.0115 \times 10^{23} \times 1.481 \text{ MeV}}{50.55 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = \frac{3.676 \times 10^{20} \text{ MeV}}{\text{h}} \times \frac{4.45 \times 10^{-20} \text{ kWh}}{1 \text{ MeV}} = 16.358 \text{ kWh/h/mol}$$

Una batería de $18 \text{ g } ^{89}\text{Sr}^{38} + 90 \text{ g NaI} = 110 \text{ g}$ peso teórico para la fuente de energía de 3.2 kWh 20% eficacia: 650 Wh . 300 g adicionales serían requeridos para completar el artefacto de batería. Este, podría competir con las baterías de Litio, cuales están actualmente en uso para operar los motores eléctricos de los aviones modelos (Tabla 4). Esto aventaja la operación tiempo de vuelo durante un mes, sin la necesidad de reemplazar la batería centelleante.

a. ^{60}Co Reacción desintegradora: Beta-menos ($\beta = {}^0e^-$) decrece:

$^{60}\text{Co}^{27} \longrightarrow {}^{60}\text{Ni}^{28} + (0.31 \text{ MeV } {}^0e^-) + (1.17 \text{ MeV } \gamma + 1.33 \text{ MeV } \gamma)$, Energía total = 2.824 MeV .

Producción de ^{60}Co : ^{59}Co (no radioactivo) + neutrón $\longrightarrow {}^{60}\text{Co} + \gamma$ ($Q = 7.492 \text{ MeV}$). ^{60}Co no puede empezar una reacción en cadena, y ya que la eliminación esta todavía sin resolver, esto puede comprarse a un costo menor que el ^{89}Sr . Sin embargo, ^{60}Co debe ser tratado más cuidadosamente.

b. Cálculo de la desintegración por segundo por mol del $^{60}\text{Co}^{27}$.

$3.0115 \times 10^{23} / 5.1 \text{ años} = 5.90 \times 10^{22}$ (desinteg. / año) = $5.90 \times 10^{22} / 3.1536 \times 10^7 \text{ seg.}$
= 1.87×10^{15} (disinteg. / seg.)

$2.824 \times 10^6 \text{ eV}$ (suma de la energía de $1\beta + 2\gamma / 50 \text{ eV}$ transferencia de energía por colisión) $\Rightarrow 5.65 \times 10^4$ fotones / $(1\beta + 2\gamma) \times 1.87 \times 10^{15}$ desinteg. / seg. = 1.06×10^{20} (fotones emitidos / seg. / mol de $^{60}\text{Co}^{27}$).

c. Peso de centelleo para prevenir eficientemente fugas radiactivas de $^{60}\text{Co}^{27}$

Partículas β desde $^{90}\text{Sr}^{38}$ y $^{89}\text{Sr}^{38}$ tienen una eficacia de colisiones mas altas que la mezcla de β y γ -radiación de $^{60}\text{Co}^{27}$. Esto requiere la introducción de un factor de corrección, para el bajo valor de eficacia del escudo de centelleo del NaI para $^{60}\text{Co}^{27}$. Eficiencia de colisión de $1 / 10000$ de radiación vs. NaI. La relación: 06×10^{20} fotones emitidos / s / mol = $1.06 \times 10^{24} \Rightarrow 264 \text{ g}$ de moléculas centelleantes requeridas para absorber la energía de 60 g de $^{60}\text{Co}^{27}$.

d. Rendimiento de la energía de $^{60}\text{Co}^{27}$

La salida de la energía para una vida completa de $1 \text{ kg de } ^{60}\text{Co}^{27} = 2.63 \times 10^3 \text{ MWh}$; vida media $\Rightarrow 1.315 \times 10^3 \text{ MWh} / 5.3 \text{ años} = 2.481 \text{ MWh} / \text{años} = 28 \text{ kWh}$ por kg de $^{60}\text{Co}^{27} = 1.68 \text{ kWh}$ por mol de $^{60}\text{Co}^{27}$.

Comparación entre el rendimiento de la energía de los radioisótopos vs. la combustión del carbón

La energía equivalente para cada radioisótopo, calculado como un porcentaje de $^{235}\text{U}^{92}$ para enfatizar las grandes energías involucradas.

Energía equivalente a 235 g $^{235}\text{U}^{92}$ expresada en toneladas métricas de carbón: 2.62×10^3 toneladas. 1 kg of $^{235}\text{U}^{92}$ libera un equivalente (en poder eléctrico) $\cong 23,900$ M Wh.

$E_{\text{Sr-90}} / E_{\text{U}}$ por átomo decae: $E_{\text{Sr-90}}: 2.8 \text{ MeV} / E_{\text{U}}: 2.11 \times 10^2 \text{ MeV} = 1.32 \%$.
Equivalente de energía de 90 g de $^{90}\text{Sr}^{38}$ en toneladas métricas de carbón: 90.39 toneladas.

Relación molar: $235\text{g} (^{235}\text{U}^{92}) / 90\text{g} (^{90}\text{Sr}^{38}) = 2.61$.
Porcentaje: $E_{\text{Sr-90}} / E_{\text{U}}$ para relaciones molares: $1.32 \% \times 2.61 = 3.45 \%$.
1kg de $^{90}\text{Sr}^{38}$ vida completa: 824.5M Wh.

Relación molar: $235\text{g} (^{235}\text{U}^{92}) / 89\text{g} (^{89}\text{Sr}^{38}) = 2.64$.
 $E_{\text{Sr-89}} / E_{\text{U}}$ por átomo decae: $E_{\text{Sr-89}}: 1.481 \text{ MeV} / E_{\text{U}}: 2.11 \times 10^2 \text{ MeV} = 0.71\%$.
Equivalencia de energía de 89 g de $^{89}\text{Sr}^{38}$ en toneladas métricas de carbón: 48.99 toneladas.

Porcentaje $E_{\text{Sr-89}} / E_{\text{U}}$ para relaciones molares: $0.71 \% \times 2.64 = 1.87 \%$.
1kg de $^{89}\text{Sr}^{38}$ vida completa: 447M Wh.

Tabla 5: Poder comparativo de reactores nucleares sin reacción en cadena (no explosivos).

Radioisótopos	Agencia	Poder máximo		Usado (Kg)	Masa (Kg)
		Termal (W)	Eléctrico (W)		
Pu-238	NASA: Voyager 2	2400	160	4.5	39
Pu-238	ESA: Galileo	4400	300	7.8	55.5
Sr-90	Soviética	230	10	0.26	560
	Cristales centelleantes	Centelleo (W)	Eléctrico (W)		
Sr-90	Proyecto	433	87	0.26	1
Sr-89	Proyecto	47780	9556	0.26	2
Co-60	Proyecto	7280	1456	0.26	1.5

Fotosíntesis

La figura 1, ilustra un posible diseño para una lámpara, emisora de luz, de larga duración. Esta tecnología no requiere un cableado, y podría ser útil para regiones lejanas a fuentes energéticas, y/o aquellas que no tengan acceso a ingenieros electrónicos entrenados.

Añadiendo sustancias centelleantes y fluorescentes, juntas en un vidrio derretido, o en cualquier material convenientemente traslucido, se podría manufacturar cristales

artificiales de diferentes eficacias y con emisiones de luz, de diferentes longitudes de onda. Esto, permite obtener un espectro de emisión, similar al generado por un tubo fluorescente, actualmente en uso en plantaciones.

Para su uso general, la lámpara tiene el inconveniente de no poder apagarse. Sin embargo, puede ser elaborado un mecanismo de deslizamiento para la fibra radiactiva, cual permitiría su desplazamiento desde el tubo centelleante-fluorescente contenedor, hasta el tubo contenedor de metal (plomo).

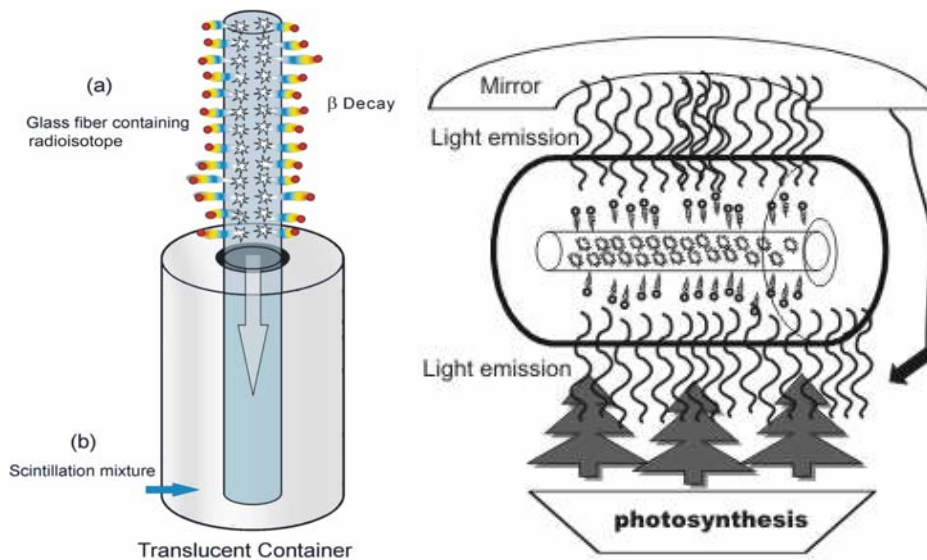


Fig.1 Radioisótopo excita lámpara centelleante. A) Chip de fibra de vidrio de un isótopo radiactivo encapsulado, y mezcla de centelleo mostrando un decaimiento de Beta, con desintegración atómica y emitiendo partículas β . B) Una vez introducidas dentro de un cilindro translúcido, hecho de capas adicionales de sustancias centelleantes, como el Sodio Yodo (NaI), después de que las moléculas excitadas regresen al estado inicial emiten una luz centelleante y brilla como una lámpara.

Si la fibra radiactiva es manufacturada desde los subproductos de las operaciones de los reactores nucleares, requeriría un cilindro contenedor translúcido más pesado, a favor de prevenir fugas radiactivas por este desperdicio.

Selección de sistemas de centelleo para la fotosíntesis

La emisión de un fotón, durante la colisión de una partícula beta, podría proveer de una fuente de luz para la hidroponía, plantación, bacteria fotosintética, crecimiento de algas, etc.

Las plantas tienen dos centros de reacción para interacción de luz, cuales son conocidas como Foto sistema I (P700) y Foto sistema II (P680). La excitación del primer centro, genera un fuerte agente reductor para transferir electrones a NADP. La excitación del segundo, resulta en un fuerte oxidante que desde el agua libera oxígeno. Foto sistema II inyecta electrones en la cadena que conecta ambos sistemas (Fig.2).

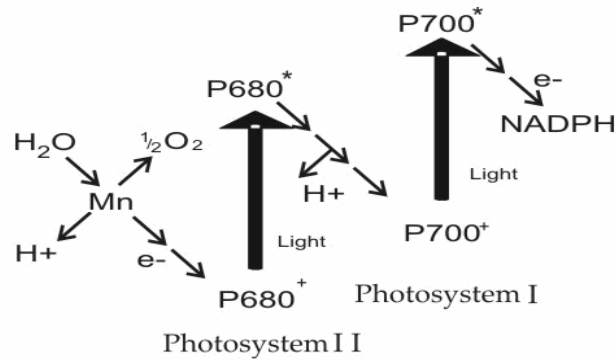


Figura 2: Ilustra el esquema-Z. Los fotones, convierten los complejos de clorofila (P680 y P700) en los agentes reductores P680* y P700*. El agua, interactúa con Mn hasta la liberación de ½ O₂ y protones (H⁺), bombeados a través de las membranas (thylakoid lumen) y por transferencia de electrones (e⁻) reduce NADP⁺ (oxidado) a NADPH + H⁺. Este último, en la oscuridad, permite la fijación de CO₂ (ciclo de Calvin).

La figura 2, muestra la excitación del Foto sistemas I y II requieren iluminación con luz desde muchas longitudes de onda, el desarrollo de mezcla de centelleos, permitiría la emisión de luz en el rango requerido, para cubrir la acción completa del espectro.

Todos estos sistemas, pueden ser hechos totalmente independientes de otras formas de energía que los radioisótopos mismos, cuales por otra parte, pueden sustituir los paneles solares, cuales usualmente operan solamente 8 horas de luz solar ⁽¹⁹⁾. Por otro lado, si una plantación esta dividida en 3 áreas de 120° cada una, su exposición a la luz artificial podría ser triplicada mediante un panel rotante centelleante, montado en un pivót para cubrir cada área por 8 hs. La luz generada por esta tecnología, puede ser usada para llevar a la fotosíntesis a obtener ecosistemas sostenibles ⁽⁴⁻¹⁷⁾.

Soluciones de ecosistema

Uno de los usos de la tecnología de transferencia de luz, puede ser el reemplazo de los paneles solares, cuales se espera que tengan una eficiencia muy baja en las regiones polares, a través del uso de las lámparas de radioisótopos manufacturadas en forma de paneles, que permitirían el desarrollo de la agricultura en regiones verdaderamente frías, o al menos administrar la luz requerida por los invernaderos en las bases polares.

Concepto tecnológico - integrador

Este concepto tecnológico-integrador, debería ser específicamente adecuado para conocer los requerimientos de la energía independientes de la tecnología existente. El impacto tecnológico de este reactor, es que puede ser escalado hasta el tamaño de una batería. A través de sustituir poder eléctrico de una batería eléctrica, se vuelve innecesario cambiar el suministro de conexiones usuales de poder, o las configuraciones para la operación instrumental.

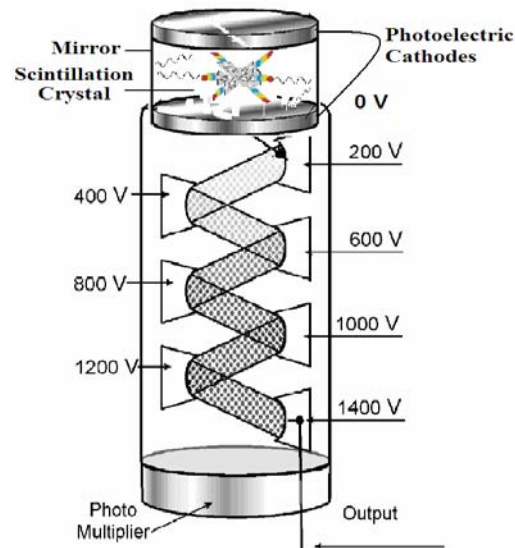


Fig. 3: Centelleo junto a control de voltaje. El poder eléctrico es substituido por una batería, operada por un radioisótopo y conectada a este amplificador de voltaje. La figura muestra que, las partículas β decadentes, interactúan con el cristal centelleante, resultando en emisión de fotones reflectada por un espejo circundante. El contacto directo con el cristal centelleante, es representado el cátodo fotoeléctrico de un multiplicador, cual libera electrones cuando es asolado por fotones. Los electrones son acelerados hacia el primer ánodo, llegando con la energía de doscientos electrón voltio (V), liberando a los electrones secundarios de su superficie. Una repetición subsiguiente de este proceso, resulta en una salida de la corriente eléctrica.

Una secuencia de elementos fotovoltaicos, pueden ser usados para mejorar la eficiencia, si la energía de las partículas β es de más fácil captura, mediante una mezcla de sustancias centelleantes generando luz de más de una longitud de onda. El diseño puede ser mejorado, usando la energía generada por los radioisótopos para generar energía eléctrica en exceso, del que puede ser suministro del control de voltaje.

Adicionalmente, la investigación puede extenderse para encontrar sistemas de cascadas, cuales permitirían la suma de los pasos cuánticos de centelleo, y/o fosforescentes, y/o sustancias fluorescentes. Esto, podría permitir obtener la suma de la energía de los fotones de longitud de onda más, larga hacia la emisión de fotones más energéticos, u obtener sistemas de mayor eficacia energética.

Chips mas avanzados, pueden ser desarrollados incorporando cristales de nitruro de Boro (hBN), fuertemente resistentes al calor, con una emisión de $\lambda = 215$ nm (nanómetros) a temperatura ambiente ⁽¹⁹⁾, radiación UV puede ser adecuado en el vacío para propulsar a las velas solares. La tarea del diseño, será la de transferir energía a lo largo de una fibra óptica, simulando dispositivos láser.

Un ejemplo adicional sería que, la producción de luz por estas lámparas, permitirían la generación de electricidad a partir del hidrogeno, o mejorar su poder de propulsión produciendo dos caminos de disociación, de paridad opuesta con enredos, llevando a una correlación en las direcciones seguidas por los protones, electrones y átomos resultantes ⁽²⁰⁾.

Disipación del calor

Estas y las subsecuentes figuras de poder eléctrico, no han sido corregidas para la decreciente eficacia de pérdida de calor. Esto último, debería ser determinado experimentalmente. Pérdidas por disipación de la energía, como el calor por un sistema de refrigeración, puede estar conectado a un sistema de calor para el mantenimiento de la temperatura ambiente, dentro de vehículos espaciales para la exploración.

El material selecto para contener a los radioisótopos, puede tener diferentes formas para facilitar la disipación del calor. Es sugerido manufacturar largas fibras, para ser cortadas de acuerdo a su uso. Para tamaños pequeños, el intercambio de calor con el aire circundante, provee suficiente refrigeración. Para tal propósito, las fibras radiactivas pueden ser plegadas y/o envueltas, tomando recaudos de dejar suficiente distancia, con el fin de permitir un efecto de refrigeración del aire más fácilmente.

Para un radioisótopo básico mas largo, la refrigeración puede lograrse a través de hacer girar la fibra radiactiva, alrededor del tubo de circulación de sistema de refrigeración anexo. Si hacer juego con un radioisótopo básico largo, requiere un largo escudo de centelleo básico-adjunto, podría hacerse de cristales súper impuestos dejando, entre ellos, suficiente espacio para formar canales de circulación de aire. Si el tamaño del sistema, alcanza la necesidad de requerir un sistema de refrigeración líquido, podría instalarse de tal modo que uno de los lados tenga capacidades reflectoras, permitiendo refrigerar y centrarse en la luz emitida.

Las soluciones de ingeniería, serán capaces de adecuar la geometría de los cristales radiactivos y centelleantes, para permitir suficiente disipación del calor, de acuerdo a diferentes requerimientos operativos. En el vacío del espacio, en lugar de refrigerar, sería más conveniente irradiar calor hacia las cámaras, conteniendo a los instrumentos.

Tecnología adaptable para la exploración interplanetaria y del espacio profundo

La exploración y colonización de otros mundos requiere suministros de energía de larga duración ⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾. Sin embargo, para los propósitos de las agencias espaciales, la vida media del $^{90}\text{Sr}^{38}$ operando una batería fotovoltaica puede ser adecuada, pero su poder insuficiente, y lo opuesto sería verdad para el $^{89}\text{Sr}^{38}$. Entonces, lo adecuado en perspectiva a la exploración del espacio sería el $^{60}\text{Co}^{27}$.

NASA ha iniciado la exploración mas allá del sistema solar, usando sondas cuales caen en un camino de circunvalación del sol, para conferir a estas aeronaves la energía gravitacional necesaria para escapar del sistema solar. El empuje obtenido, permite alcanzar una velocidad del orden de decenas de miles de kilómetros por hora, y llevaría a las sondas algunos milenios en alcanzar otros soles.

Para la navegación interplanetaria, el uso de velas solares esta bajo desarrollo, planeado que las pantallas de aluminio fueran empujadas por los fotones del sol. Este tipo de navegación, permite una aceleración constante, con un límite teórico de una fracción de la velocidad de la luz. Sin embargo, si la aeronave se mueve lejos del sol, el número de fotones incidiendo sobre la vela decrecería hasta volverse nulo.

Como resultado, la propulsión solar no puede usarse para navegar entre dos sistemas solares. La considerable dimensión de una planta termonuclear, requeriría una vela solar con el tamaño de muchos kilómetros cuadrados. La solución es reemplazar la planta termonuclear por una planta nuclear-luminiscente, donde la energía de los radioisótopos no fisionables, como el estroncio-90, puede ser transformado por los cristales centelleantes, en luz brillando directamente hacia las velas.

La ingeniería de este sistema, puede resultar en velas considerablemente más pequeñas, permitiendo costos de desarrollo menores usando maquetas.

Las lámparas centelleantes, en el espacio profundo, proveerían de presión de radiación para compensar el proveniente del sol. Si es requerido, dos aeronaves podrían cruzar directamente su propio rayo láser, para impulsar la vela de la otra nave, como una solución del requerimiento de una fuente de poder externa.

Estos láser, podrían mantener una aceleración continua, si logran un incremento de 10 metros por segundo cada segundo, en unos pocos años permitirían alcanzar un porcentaje significativo de la velocidad de la luz. Además, permitirían en no muchos años, llegar a otro sistema solar, en velocidades que nunca se podrían lograr usando navegación gravitacional.

Los vehículos de exploración planetaria, pueden tomar ventaja de los reactores atómicos de tamaño y peso reducidos, cuales son más adecuados para usar en baterías con una vida-spam, cercana a la vida media de un radioisótopo. Ejemplo: Un kg de $^{60}\text{Co}^{27}$, mas el peso de los cristales generando energía, pesaría menos de 5 kg, proporcionando casi $27 \text{ kWh} / \text{h}$ decreciendo a la mitad después de 5 años.

Si una batería fotovoltaica basada en $^{60}\text{Co}^{27}$, es juntada con un motor eléctrico, su duración operativa y poder, pueden ser favorablemente comparados al de un vehículo robot (alrededor de 45 kg.), operado por un control remoto con energía derivada en una batería de Litio, cuales su duración operativa es de sólo unas cuantas horas.

Un sistema soporte de vida, consistiendo en una pequeña planta para la descomposición electrolítica del agua, puede operarse mediante estas baterías desde alrededor de 5Kwh logrando producir 1m^3 de hidrogeno y un $\frac{1}{2} \text{m}^3$ de oxigeno por hora. Un sistema como este podría salvar peso, convirtiendo agua desperdiciada en un suministro de oxigeno e hidrogeno, que puede usarse como un combustible de propulsión.

Sistemas de soporte de vida

Están usualmente basados en el uso de tubos de oxigeno y fijación alcalina de CO_2 , con excesivo peso y teniendo una vida limitada, consecuentemente no son muy adecuados para largos viajes, o en sostener colonias humanas en la Luna o en planetas. Los sistemas precedentes, pueden ser reemplazados por electrolisis, generando oxigeno o fotosíntesis, lo cual producirá una atmósfera renovable que, no solamente restaura el nivel de oxigeno, sino que también concomitantemente decrece el nivel de CO_2 . Estos objetivos, pueden ser también logrados a través del uso de paneles solares, aunque su tamaño es muy superior al de una lámpara centelleante, igualmente pueden ser

fácilmente adaptables para proveer luz para la fotosíntesis, pero se vuelven crecientemente ineficientes al alejarse del sol.

Conclusiones

Para muchos escudos de radioisótopos, por moléculas centelleantes dentro del cristal mismo, puede ser suficiente atrapar la mayoría de las radiaciones β o γ , cubiertas por un cristal suficientemente grueso, resultando en una fuga radiactiva insignificante.

Los escudos de vidrios centelleantes, deberían ser considerados como un reemplazo innovador al escudo de plomo. Un ininterrumpido brillo puede ser una ventaja, si es deseado ahorrar en expensas de luz.

Seguridad comparativa

Los reactores nucleares, pueden también ser usados como una fuente de energía para las lámparas eléctricas, pero su tamaño y costo pueden limitar su uso. Además, una aeronave que requiera viajar a Marte para un viaje de 3 o más años, expone a la tripulación a niveles de radiación insalubre e inaceptable, al menos que el reactor nuclear sea protegido fuertemente. Las lámparas centelleantes de larga duración, agregarán mucho menos peso; porque estos pueden ser designados para ajustarse a cualquier escala, y además el cristal centelleante proporciona un escudo más liviano y eficiente.

Costos comparativos

Las características previamente descritas, permiten que una planta pequeña de centelleo nuclear, pueda ser hecha significativamente mas barata, que aquella de tamaño similar de reactores atómicos con transferencia de calor, y puede ser fácilmente diseñado para los requerimientos de seguridad y salud. Las necesidades de una colonia humana fuera de la Tierra, pueden ciertamente incluir reactores nucleares, pero su funcionamiento producirá residuos radiactivos, cuales podrían ser utilizados como fue descrito anteriormente.

Relación al presente estado de conocimiento

Las necesidades crecientes de energía en el mundo, indica que se requiere encontrar maneras, y significados para el uso extensivo de los radioisótopos. Estos podrían ser una significativa contribución, añadiendo una fuente de energía suplementaria, y también aliviarían el difícil problema de eliminación radiactiva. La expansión de esta tecnología requeriría sistemas de estudio, cuales permitirían una eficiente transmisión de luz a través de fibras ópticas. El desarrollo del sistema de confinamiento del fotón, es necesario para permitir el almacenamiento de la radiación electromagnética, para cumplir el rol de los condensadores.

Referencias:

1. IRVING, Kaplan, "Nuclear Physics", E. Addison Wesley.
2. KLIMOV, "Nuclear Physics and Nuclear Reactors", Ed. MIR.
<http://www.webelements.com/webelements/elements/text/Sr/chem.html>
3. Dr. Lide (ed.) CRC Handbook of Chemistry and Physics 1999-2000: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data (CRC Handbook of Chemistry and Physics). CRC Press, USA, 79th edition, 1998.
4. BENNUN, A. and AVRON, M., The relation of the light-dependent and light-triggered adenosine triphosphatases to photophosphorylation, *Biochimica et Biophysica Acta* 109, pp. 117-127 (1965).
5. BENNUN, A., A model mechanism for coupled phosphorylation, (1974). In Proc. 3rd International Congress Photosynthesis, Rehovoth (Mordhay Avron Ed.), Vol. 2, pp. 1107-1120, Elsevier Science Publisher Co., Amsterdam.
6. BENNUN, A., Hypothesis for coupling energy transduction with ATP synthesis or ATP hydrolysis, (1971). *Nature New Biology*, Vol. 233, No. 35, pp. 5-8.
7. BENNUN, A., Properties of chloroplast's coupling factor-1 and a hypothesis for a mechanism of energy transduction, (1971). Proceedings First European Biophysics Congress, Baden, Austria, 1971, in "Photosynthesis, Bioenergetics, Regulation, Origin of Life" (E. Broda, A. Locker and H. Springer-Lederer Eds.), Vol. IV, pp. 85-91, Wiener Medizinischen Akademie, Vienna, Austria.
8. BENNUN, A., The unitary hypothesis on the coupling of energy transduction and its relevance to the modeling of mechanisms, (1974). *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 227, pp. 116-145. A. B 10.
9. Bennun, Alfredo and Avron, Mordhay. Light-dependent and light-triggered adenosinetriphosphatases in chloroplasts.. **Biochim. Biophys. Acta** **19**, 646-648. (1964)
10. Bennun, A. and Blum, J.J. Properties of the induced acid phosphatase and of the constitutive acid phosphatase of Euglena.. **Biochim. Biophys. Acta** **125**, 106-123. (1966)
11. Bennun, A. and Racker, E. Partial resolution of the enzymes catalyzing photophosphorylation IV. Interaction of coupling factor I from chloroplast with components of the chloroplast membrane.. **J. Biol. Chem.** **244**, 1325-1331. (1969)
12. Stoppani, A.O.M., Ramos, E.H., Widuczynski, I., Bennun, A., and De Pahn, E.M. The effect of 2,4 - dinitrophenol on the oxidation of endogenous and exogenous substrates by the yeast *Saccharomyces cerevisiae* **Vol. 1**, pp. 241-252 (1962). **Proc. Conf., Mexico City, 1961** in "Use of Radioisotopes in Animal Biology and the Medical Sciences" (C.M. Fried et al., eds.) , Academic Press, London.
13. Stoppani, A.O.M., Bennun, A., and De Pahn, E.M. Effect of DNP on the metabolism of phosphates in *Saccharomyces cerevisiae* pp. 59-68. Symp. of the inter-Am. Nuclear Energy Commission, Valparaiso, 1964, in "**5th inter-American Symposium on the Peaceful Application of Nuclear Energy.**" J.D. Perkinson, and the Secretariat of IANEC, , Organization of American States, Washington, D.C. (1965)
14. Bennun, A. Interaction of the chloroplast coupling factor with protons and water pp. 254-264. **Congreso Argentino de Ciencias Biologicas, 1970** in "**Recientes adelantos en Biología**" (J.A. Moguilllevsky and R. Mejía, eds.) , Univ. of Buenos Aires Press. (1971)
15. Bennun, A. Properties of chloroplast's coupling factor-1 and a hypothesis for a mechanism of energy transduction **Vol. IV**. pp. 85-91. Proceedings First European

Biophysics Congress, Baden, Austria, 1971. In **“Photosynthesis, Bioenergetics, Regulation, Origin of Life”** (E. Broda, A. Locker, and H. Springer-Lederer, eds.), Wiener Medizinischen Akademie, Vienna. (1971)

16. Bennun, A. and Bennun, N. Hypothesis for a mechanism of energy of energy transduction. Sigmoidal kinetics of chloroplast's heat-activated ATPase. **Vol. 2**, 1115-1124 **In Proc 2nd Int Cong. On Photosynthesis Res.** (Giorgio Forti, Mordhay Avron and, Andrea Melardri, eds.), Dr. W. Junk N.V. Pub., The Hague. (1972)

17. Bennun, A. A model mechanism for coupled phosphorylation **Vol. 2** pp. 1107-1120. **Proc. 3rd Int. Cong. Photosynthesis**, Rehovoth (M. Avron, ed.) Elsevier Sci. Pub. Co. Amsterdam. (1974)

18. F. Martin, J.; Fernandez T.; Havermeier, L.; Foucar, Th.; Weber, K.; Kreidi, L.; Schmidt, T.; Jahnke, O.; Jagutzki, A.; Czasch, E. P.; Benis, T.; Osipov, A. L.; Landers, A.; Belkacem, M. H.; Prior, H.; Schmidt-Bocking, C. L.; Cocke, R.; Dorner, “Single Photon-Induced Symmetry Breaking of H₂ Dissociation”, *Science*, Vol. 315, page 629-634 (2 February 2007).

19. Zweibel, K.; Mason, J. and Fthenakis, V., “A solar grand plan”, *Scientific American*, **298 (1)** pag. 48-57

20. Kubota, Y.; Watanabe, K.; Tsuda, O. and Taniguchi, T., “Deep ultraviolet light-emitting hexagonal boron nitride synthesized at atmospheric pressure”, *Science*, **317**, pag. 932-934 (17 August 2007).

21. Ashley, S. and Musser, G.; “The future of space exploration”, *Scientific American*, **297 (4)** pag. 34-36 (2007)

22. Dingell, C.; Johns, W. A. and Kramer White, J. “To the moon and beyond”, *Scientific American*, **297 (4)** pag. 36-43 (2007).

23. Musser, G. “Five essential things to do in space”, *Scientific American*, **297 (4)** pag. 43 (2007).

Addendum

Techno idea was previously submitted as Proposals:

“Integrative design for radio nuclear power-transfer by light to batteries”

Transmittal Letter or Prefatory Material

Phase I- Advanced Aeronautical/Space Concept Studies - NIAC CP 05-01. Refer by NASA to DARPA, 03/16, 2007.

Radioisótopos como fuente de energía transferible por centelleo lumínico para operar sistemas fotovoltaicos diseñados para escalas mayores o menores que una batería

Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) formulario para la presentación de ideas-proyectos (convocatoria 2006).

Alfred Bennun PhD.

Full Professor of Biochemistry (R)

Full Member Graduate Programs in the Molecular Biosciences - Rutgers - UMDNJ

647 E. 14th St. Apt. 2G

New York, NY 10009

Addendum de: **“Diseño de un reactor de radioisótopos integrado para producir luz por centelleo y conectable a células fotovoltaicas para la producción de electricidad”**
