

SEMBLANZAS DE LOS PREMIOS NOBEL 2002

El Premio Nobel de Física 2002

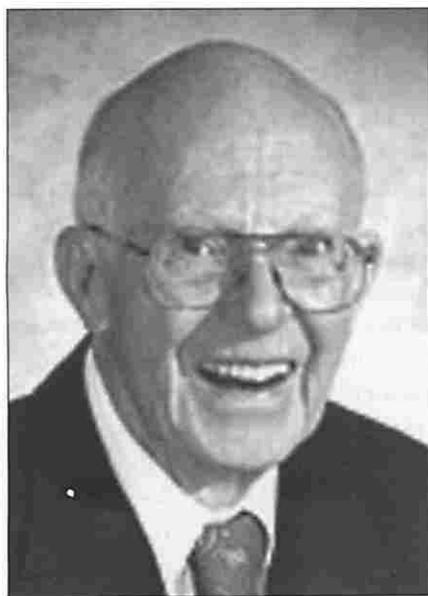
El Premio Nobel de Física 2002 ha sido concedido a **Raymond Davis Jr.** y **Masatoshi Koshiha** "por sus contribuciones pioneras a la astrofísica, y en particular por la detección de los neutrinos cósmicos", y a **Riccardo Giacconi** "por sus contribuciones pioneras a la astrofísica, que han llevado al descubrimiento de fuentes de rayos X cósmicas". El neutrino fue postulado por Pauli en 1930 para explicar la aparente violación de la conservación de energía y momento angular en la desintegración β . Cuatro años más tarde, Enrico Fermi le dio nombre y lo introdujo en su teoría de la desintegración β . Más adelante, el descubrimiento del muón y su desintegración para dar un electrón ordinario hizo necesario introducir un neutrino muónico distinto del electrónico: de lo contrario, la desintegración del muón en un electrón iría acompañada de la emisión de un fotón, cosa que no se observaba. Esto se repitió con el descubrimiento de un nuevo leptón, la partícula τ , que también reclamaba su propio neutrino. Así, los neutrinos

han pasado a ser un elemento fundamental del modelo estándar de la física de partículas. Existen tres familias de partículas, de estructura idéntica, aunque cada una más pesada que la anterior. Cada familia está compuesta por dos quarks y dos leptones; de éstos, uno es una partícula cargada y con masa, y el otro es su neutrino asociado, neutro y aparentemente sin masa.

El neutrino era extraordinariamente escurridizo. Las primeras estimaciones daban una sección eficaz para la captura de un neutrino del orden de 10^{-44} cm². En otras palabras, un neutrino podría atravesar 1.000 años-luz de hidrógeno líquido sin interactuar con ningún núcleo. Así, Pauli llegó a decir que había postulado una partícula que era imposible de detectar. Pese a estas dificultades, Clyde Cowan y Frederick Reines abordaron su detección a principios de los años 50. Para ello necesitaban una intensa fuente de neutrinos. Inicialmente pensaron en utilizar incluso una explosión nuclear, aunque posteriormente utilizaron una fuente más modesta: el reactor

nuclear del río Savannah, en Carolina del Sur, en donde se producía un flujo de unos 10^{13} neutrinos/cm²·s procedentes de reacciones de fisión. El detector consistía en un tanque con 410 litros de fluor rodeado de fotodetectores, y se basaba en la reacción de desintegración β inversa: $\bar{\nu} + p \rightarrow n + e^+$. El positrón así producido se aniquilaba posteriormente con un electrón dando dos rayos γ . Por su parte, el neutrón era capturado en un blanco de cadmio produciendo una cascada de rayos γ . La detección simultánea de ambos procesos era la firma del neutrino. Finalmente, Cowan y Reines pudieron anunciar su descubrimiento en 1956. Éste mereció un Premio Nobel en 1995, un reconocimiento demasiado tardío pues Clyde Cowan había fallecido 20 años antes.

Aparte de los reactores nucleares de fisión, existe otra gran fuente de neutrinos próxima a nosotros: el Sol. La energía de las estrellas proviene de los procesos de fusión en el núcleo estelar, que desprenden gran cantidad de neutrinos. Dada la débil interacción de los neutrinos con la materia, los neutrinos producidos en el núcleo solar atraviesan fácilmente



Raymond Davis Jr.



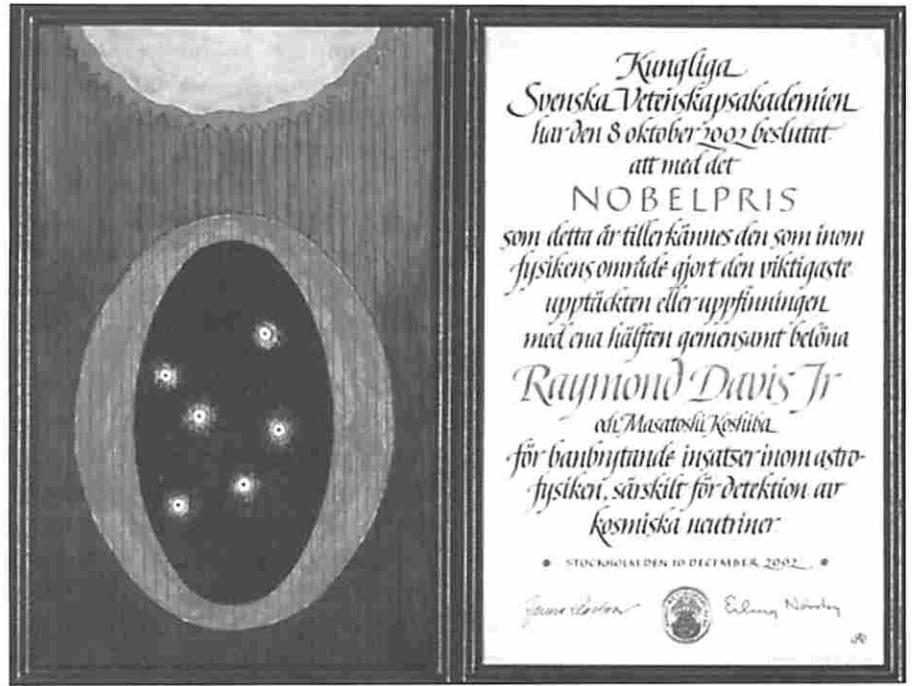
Masatoshi Koshiha.



Riccardo Giacconi.

te el Sol y llegan directamente hasta la Tierra. (Por el contrario, un fotón producido en el núcleo solar tarda aproximadamente un millón de años en llegar a la superficie, tras sufrir innumerables dispersiones y perder gran parte de su energía.) Por consiguiente, la detección de los neutrinos solares suponía una ventana abierta al interior del Sol y un medio de comprobar la validez de los modelos estelares.

Este trabajo es el que emprendió Raymond Davis. Sin embargo, el método de detección de Davis se basaba en una reacción distinta: $\nu + p \rightarrow n + e^-$. Bruno Pontecorvo había calculado años antes que la sección eficaz para esta reacción era particularmente alta cuando el protón formaba parte de núcleos de cloro. En este caso, la reacción concreta era: $\nu + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}\text{A} + e^-$. Este isótopo del argón es radioactivo y tiene una vida media de 35 días. El problema es que esta reacción tiene una energía umbral de 0,81 eV y la mayoría de los neutrinos procedentes del Sol, producidos en la fusión de núcleos de hidrógeno para dar helio, tienen una energía menor. Afortunadamente se comprobó que existen otras reacciones de fusión que producen neutrinos mucho más energéticos, aunque en número mucho menor. Para compensar esto, Davis tenía que utilizar una enorme cantidad de núcleos de cloro. En concreto, utilizó un tanque con 600 toneladas de percloroetileno. (Compárese con los 410 litros del detector de Cowan y Reines). El percloroetileno es un líquido relativamente barato y normalmente utilizado en las lavanderías para la limpieza en seco. (Se cuenta que una vez que Davis había encargado la compra de percloroetileno recibió un aluvión de folletos de propaganda y ofertas de colgadores y otros objetos de lavandería procedentes de suministradores que lo confundían con un industrial del ramo.) El tanque fue colocado en una mina de oro abandonada en Homestake, Dakota del Sur, a una profundidad de 1.500 metros, que garantizaba un apantallamiento de



Ejemplo de Diploma: Premio Nobel a Raymond Davis Jr.

los rayos cósmicos que pudieran interferir en el experimento. Puesto que la vida media del argón radioactivo es de 35 días, el tanque se vaciaba cada dos meses: todo “se reducía” entonces a buscar unos pocos átomos de argón entre unos 10^{30} átomos de cloro.

Los cálculos previos llevaban a estimaciones de unos 20 neutrinos detectados por mes. Sin embargo, pese a sucesivas mejoras, el detector solo conseguía detectar aproximadamente un tercio de dicha cifra. Se abrió así lo que llegó a conocerse como el problema de los neutrinos solares ausentes. Se propusieron varias soluciones a este problema. Una de ellas era la posible presencia de WIMPs (Wery Interactive Massive Particles) atrapadas en el Sol que se llevarían buena parte de la energía y reducirían la temperatura del interior y, en consecuencia, el ritmo de las reacciones nucleares. Otra era la sugerencia de Pontecorvo en el sentido de que, en realidad, los neutrinos tenían una pequeña masa, lo que implicaba algunas ligeras modificaciones en el modelo estándar. Una manera directa de detectar la masa de los neutrinos es a través de los espectros de energía en experimentos de simple y doble desinte-

gración β . De hecho, durante los años 80 hubo varios anuncios de que se habían detectado neutrinos con una masa de 17 keV. Incluso Sheldon Glashow, ya entonces premio Nobel, acogió la noticia con entusiasmo, a pesar de que una masa tan enorme tendría consecuencias notables para la propia constitución del Universo. Hoy día nadie concede valor a tales experimentos que son objeto de artículos en historia y sociología de la ciencia antes que de investigación en física propiamente dicha.

Sin embargo, si los neutrinos tuvieran masa habría oscilaciones entre un tipo y otro de neutrinos. Pontecorvo hizo su sugerencia en 1968, poco después de que se descubriera el muón y antes de que se descubriera el tauón; pero, una vez descubierto éste en 1975, los resultados empezaban a cuadrar. Los neutrinos producidos en el interior del Sol eran neutrinos electrónicos, pero en su viaje hasta la Tierra un tercio de ellos se transformaba en neutrinos muónicos y el otro en neutrinos tauónicos, dejando sólo un tercio de neutrinos electrónicos. Sin embargo, la comprobación de esta hipótesis requería un instrumento más sofisticado que el detec-

tor de Davis. El experimento en Homestake se cerró en 1994. Actualmente se está debatiendo una propuesta para instalar un laboratorio geofísico en ese lugar.

Lo que ahora se necesita es un detector sensible a varios tipos de neutrinos. Por ejemplo, detectores a base de galio. El problema es que el Ga es caro para utilizar en grandes cantidades. Un detector más barato era el Kamiokande en Japón, diseñado por Masatoshi Koshiba con el propósito inicial de detectar la posible desintegración del protón. Inicialmente el detector consistía en algo más de 2.000 toneladas de agua pura enterradas en una mina. Ahora no se detectaban procesos de absorción de neutrinos sino procesos de dispersión elástica neutrino-electrón, que es independiente de la naturaleza de aquellos. Los electrones dispersados por los neutrinos emiten radiación Cerenkov, que es detectada por tubos fotomultiplicadores. Con ello se podía determinar además la dirección del neutrino incidente. El primer gran éxito de Kamiokande fue la detección de un chaparrón de neutrinos emitido durante la explosión de la supernova 1987A el 23 de febrero de 1987. Si los neutrinos no tuvieran masa, todos irían a la velocidad de la luz independientemente de cuál fuera su energía y, por lo tanto, todos llegarían aproximadamente al mismo tiempo. Sin embargo, se registraron diferentes tiempos de llegada para neutrinos de diferentes energías, lo que era compatible con una pequeña masa, inferior, en cualquier caso, a 20 eV.

Finalmente, en 1996 se construyó el nuevo detector Super Kamiokande que consistía en un estanque de 50.000 toneladas de agua pura rodeado de 11.000 tubos fotomultiplicadores. En 1998 el detector midió los chaparrones de neutrinos producidos por los rayos cósmicos en la atmósfera terrestre. Según la teoría, la proporción entre neutrinos muónicos en estos chaparrones debe ser de 2 a 1, mientras que la proporción realmente detectada es menor, lo que de nuevo tendría

explicación si parte de los neutrinos emitidos se ha transformado por el camino. No obstante, las oscilaciones entre neutrinos no imponen límites a las masas propiamente dichas sino a la diferencia entre los cuadrados de las masas. Los resultados experimentales apuntan a una diferencia máxima de 0,05 eV entre las masas de los neutrinos.

Para concluir esta historia hay que señalar que en 2001 entró en funcionamiento un nuevo detector de neutrinos en Sudbury (Canadá). La novedad es que este detector utiliza agua pesada, y la sección eficaz para la colisión elástica neutrino-deuterio es mucho mayor que para la colisión neutrino-electrón. Además, son posibles otros tipos de colisión, lo que aumenta enormemente la sensibilidad de este detector frente a los precedentes. Los resultados obtenidos durante 2002 han resuelto sin lugar a dudas el problema de los neutrinos solares.

Si el descubrimiento del neutrino ya había sido merecedor del Premio Nobel de 1995, ningún descubrimiento tenía más solera que el de los rayos X, que mereció el primer Premio Nobel de Física, concedido en 1901. La detección pura y simple de rayos X era bastante sencilla. Los rayos X eran fácilmente absorbidos cuando se propagan en un medio material: de ahí sus tempranas aplicaciones en radiología. Más tarde se observó que eran difractados por estructuras cristalinas, lo que ponía de manifiesto que su longitud de onda era muy pequeña, y la difracción de rayos X se convirtió en un instrumento fundamental para la cristalografía. Sin embargo, estas dos características hacían casi imposible su aplicación en astronomía, por más que se sospechase de la existencia de fuentes cósmicas de rayos X. En efecto, la mayoría de los rayos X de origen extraterrestre son absorbidos por la atmósfera: sólo los más energéticos penetran en ésta lo suficiente como para ser detectados en globos estratosféri-

cos. En segundo lugar, su pequeña longitud de onda hacía imposible la construcción de lentes mediante las cuales focalizar los rayos y poder determinar su dirección de procedencia. Ni siquiera cuando se detectaron los primeros rayos X procedentes del Sol podía determinarse de que región procedían. Este problema fue abordado en 1960 por Riccardo Giacconi y Bruno Rossi, que diseñaron un sistema óptico para focalizar rayos X a base de sucesivas reflexiones con incidencia rasante.

Para superar el filtro de la atmósfera terrestre los instrumentos debían ir a bordo de cohetes cuya estabilidad era precaria y cuyo tiempo de vuelo era de algunos minutos. Pese a todo, el grupo de Giacconi pudo detectar las primeras fuentes extrasolares de rayos X, algunas de las cuales revelaban la existencia de procesos extraordinariamente energéticos en el universo.

El gran salto adelante lo supuso el lanzamiento en 1970 del satélite "Uhuru" ("Libertad" en swahili; el satélite fue lanzado desde Kenia), que permitió hacer un examen completo del cielo. Los datos que aportó "Uhuru" ofrecían una imagen totalmente nueva del Universo: fueron decisivos para el estudio de supernovas, púlsares, sistemas binarios, cúmulos globulares y agujeros negros. En 1978 se puso en órbita el Observatorio Einstein de Rayos X, con una sensibilidad 1000 veces mayor. Finalmente, en 1999 se puso en órbita el satélite "Chandra" (en homenaje a Subramanian Chandrasekhar) que lleva a bordo un telescopio de rayos X con una resolución angular de 0.5 segundos de arco, comparable a la mejor resolución de los telescopios ópticos; algo que parecía imposible antes de que Giacconi iniciara sus trabajos. Hoy día la astronomía de rayos X es una herramienta indispensable para el estudio de la estructura y evolución del universo.