

El Premio Nobel de Física 2008

El premio Nobel de Física 2008 es compartido por tres científicos:

Makoto Kobayashi (1944). Japón y Toshihide Maskawa (1940). Japón

"Por el descubrimiento del origen de la ruptura de la simetría que predice la existencia de, al menos, tres familias de quarks en la naturaleza"

Yoichiro Nambu (1921). USA

"Por el descubrimiento del mecanismo de ruptura espontánea de la simetría en física subatómica"

Por qué hay algo en vez de nada? Por qué hay tantas partículas elementales diferentes? Los laureados con el Premio Nobel de Física de este año han presentado ideas teóricas que nos suministran una comprensión más profunda de lo que sucede en el interior de los bloques más pequeños que forman la materia.

Desentrañando la simetría oculta de la naturaleza

La naturaleza de las leyes de simetría se encuentran en el corazón de este asunto; o más bien, la rotura de las simetrías, tanto las que parecen haber existido en nuestro universo desde el principio como aquellas que han perdido su simetría original en alguna parte del camino.

De hecho, todos somos hijos de la simetría rota. Ello debió ocurrir inmediatamente después del Big Bang, hace unos 14.000 millones de años cuando fueron creadas la materia y la antimateria. El contacto de materia y antimateria es fatal para ambas, se aniquilan mutuamente y se transforman en radiación. Es evidente que la materia, al final, ganó la partida a la antimateria, de otra manera nosotros no estaríamos aquí. Pero estamos, y una pequeña desviación de la simetría perfecta parece que ha sido suficiente – un exceso de una partícula de materia por cada diez mil millones de partículas de antimateria fueron suficientes para hacer que nuestro mundo exista -. Este exceso de la materia fue la semilla de nuestro universo lleno de galaxias, estrellas y planetas y, eventualmente, de vida. Pero lo que hay detrás de esta violación de la simetría en el cosmos es aún un gran misterio y un activo campo de investigación.



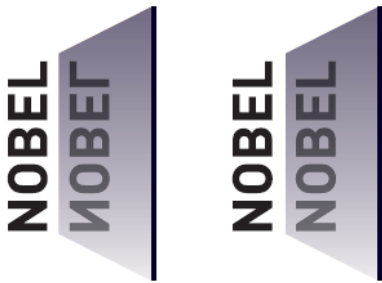
Una inexplicada ruptura de la simetría en el nacimiento del universo.

En el Big Bang fueron creadas tanto la materia como la antimateria, ambas deberían haberse aniquilado. Pero un pequeño exceso de una partícula de materia por cada diez mil millones de partículas de antimateria fue suficiente para que la materia ganara la partida a la antimateria. Este exceso terminó llenando el cosmos con galaxias, estrellas, planetas y, eventualmente, vida.

Mirando a través del espejo

Durante muchos años la física se ha centrado en la búsqueda de las leyes que rigen los fenómenos que vemos a nuestro alrededor. Las leyes naturales deberían ser perfectamente simétricas y absolutas; deberían ser válidas para todo el universo. Esto parece cierto para la mayoría de las situaciones, pero no siempre. Por esto la rotura de la simetría se ha convertido en objeto de investigación en física, tanto o más que el estudio de la propia simetría, lo cual es no es tan raro si tenemos en cuenta que en nuestro imperfecto mundo la simetría perfecta es algo ideal.

Varios tipos de simetrías y roturas de simetrías forman parte de nuestra vida diaria; la letra A no cambia cuando se refleja en un espejo, mientras que la letra Z no conserva la simetría frente a una reflexión. Sin embargo, la Z permanece inalterada cuando la giras 180° sin sacarla del papel, mientras que la A no conserva su simetría ante el mismo giro.



La teoría de partículas elementales considera tres formas básicas de simetría: simetría especular, simetría de carga y simetría temporal (en el lenguaje de la física la simetría especular es denominada P, de paridad; la simetría de carga, C y la simetría temporal como T)

En la simetría especular todos los sucesos ocurren exactamente igual si son observados directamente o reflejados en un espejo. Ello implica que no existe ninguna diferencia entre izquierda y derecha y nadie sería capaz de distinguir su propio mundo de otro reflejado en un espejo. La simetría de carga predice que las partículas cargadas se comportarán exactamente igual que sus antipartículas, las cuales tiene exactamente las mismas propiedades pero carga opuesta. Y de acuerdo con la simetría temporal, las cosas sucederían exactamente igual con independencia de que el tiempo transcurra hacia delante o hacia atrás.

Las simetrías no juegan un papel puramente estético en física. Simplifican cálculos complicados y juegan un papel decisivo en la descripción matemática del micromundo. Un hecho importante es que estas simetrías implican la existencia de un gran número de leyes de conservación a nivel de partículas. Por ejemplo, la energía se debe conservar en la colisión entre partículas elementales, debe haber la misma antes que después de la colisión, lo cual es evidente en la simetría de las ecuaciones que describen la colisión de las partículas. También existe una ley de conservación de la carga relacionada con la simetría de la teoría electromagnética.

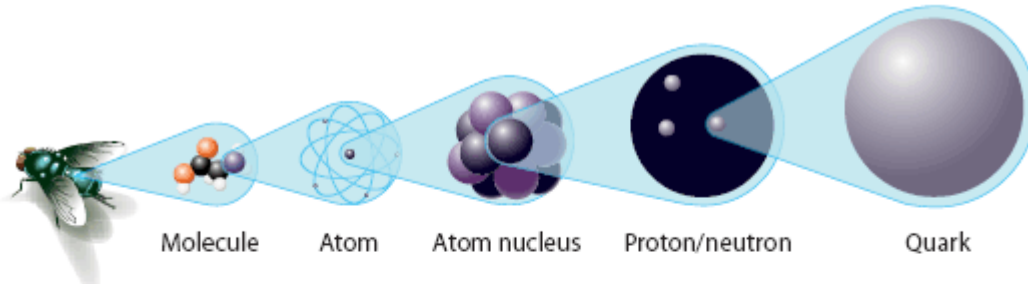
El mejor modelo

Fue hacia la mitad del s. XX cuando la ruptura de la simetría aparece en los estudios de los principios básicos de la materia. Entonces la física estaba volcada en conseguir su gran sueño: unificar todos los bloques básicos que forman la materia y todas las fuerzas en una teoría única. Pero la física de partículas se volvió más y más complicada. Nuevos aceleradores se construyeron después de la Segunda Guerra Mundial produciéndose un flujo constante de partículas nunca observadas. La mayoría de ellas no cabía en los modelos que los físicos tenían en aquel tiempo: la materia estaba formada de átomos formados por protones y neutrones situados en el núcleo y electrones girando alrededor de él. Investigaciones más profundas revelaron que los protones y los neutrones ocultaban tríos de quarks. Las nuevas partículas descubiertas también mostraron que estaban formadas de quarks.

Actualmente todas las piezas del puzzle han sido colocadas en su sitio: El **Modelo Estándar** para las partículas elementales de la materia predice tres familias de partículas (ver diagrama en la página siguiente). Estas familias se parecen bastante, pero solamente las partículas de la primera familia (las más ligeras) son lo suficientemente estables para construir el cosmos. Las partículas de las otras familias (más pesadas) sólo son muy inestables y se desintegran rápidamente generando energía y otras partículas.

Todo en la naturaleza está controlado por fuerzas. El Modelo Estándar, al menos por el momento, incluye tres de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, además de las partículas que

transmiten la interacción entre las partículas elementales (ver diagrama). El mensajero o transmisor de la fuerza electromagnética es el fotón, que tiene masa nula; la fuerza débil, responsable de la desintegración radiactiva, gracias a la cual el Sol y las estrellas brillan, es transportada por los pesados bosones W y Z; mientras que la fuerza fuerte es transportada por los gluones, los cuales mantienen unidos los núcleos atómicos. La gravedad, la cuarta fuerza, la cual hace que podamos tener nuestros pies pegados al suelo, aún no ha sido incorporada al modelo y constituye un colosal desafío para los físicos actuales.



Elementary particles			Higgs?	Forces		Messenger particles	
	First family	Second family					
Leptons	electron neutrino	muon neutrino		electromagnetic force	photon		
	electron	muon		weak force	W, Z		
Quarks	up	charm		strong force	gluons		
	down	strange					

El Modelo Estandar hoy.

Este modelo unifica todas las partículas elementales de la materia y tres fuerzas de las cuatro fuerzas fundamentales. Toda la materia conocida está formada con partículas de la primera de las familias, las otras partículas existen pero sólo por periodos de tiempo extremadamente cortos. Para completar el modelo se requiere una nueva partícula (la partícula de Higgs) que los físicos esperan encontrar con el nuevo acelerador LHC, del CERN (Ginebra).

Todo en la naturaleza está controlado por fuerzas. El Modelo Estandar, al menos por el momento, incluye tres de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, además de las partículas que transmiten la interacción entre las partículas elementales (ver diagrama). El mensajero o transmisor de la fuerza electromagnética es el fotón, que tiene masa nula; la fuerza débil, responsables de la desintegración radiactiva, gracias a la cual el Sol y las estrellas tengan brillan, es transportada por los pesados bosones W y Z; mientras que la fuerza fuerte es transportada por los gluones, los cuales mantienen unidos los núcleos atómicos. La gravedad, la cuarta fuerza, la cual hace que podamos tener nuestros pies pegados al suelo, aún no ha sido incorporada al modelo y constituye un colosal desafío para los físicos actuales.

El espejo se rompe

El Modelo Estándar es una síntesis de todas las ideas que la física de partículas ha generado durante el siglo pasado. Se asienta sobre la base teórica de los principios de simetría de la física cuántica y la teoría de la relatividad y ha resistido a innumerables pruebas. No obstante, varias crisis tuvieron lugar poniendo en peligro este bien construido edificio. Estas crisis tuvieron lugar porque los físicos asumían que las leyes de la simetría eran aplicables al micromundo de las partículas elementales. Pero esto no era totalmente cierto.

La primera sorpresa surgió en 1956 cuando dos físicos teóricos chino-americanos, Tsung Dao Lee y Chen Ning Yang (galardonados con el Premio Nobel al año siguiente, en 1967) comprobaron que la simetría especular (simetría P) era violada por la fuerza débil. Que la naturaleza respetaba la simetría especular, la simetría entre izquierda y derecha, estaba, al igual que los otros principios de la simetría, firmemente establecido.

Necesitamos volver a evaluar los viejos principios en el mundo cuántico, el de las partículas elementales, afirmaron Lee y Yang. Propusieron una serie de experimentos para comprobar la simetría especular. Sólo unos pocos meses más tarde se comprobó que la desintegración de los átomos de cobalto-60 violaba la simetría especular. La simetría se rompía ya que los electrones emitidos por el cobalto-60 preferían una dirección a la otra. Era como si alguien se sitúa frente a la estación central de Estocolmo y observa que la mayoría de la gente gira a la izquierda al salir de la estación.

Una inherente asimetría determina nuestro destino

Podía suceder que la simetría especular (P) y la simetría de carga (C), fueran violadas por separado, pero ambas a la vez, la llamada simetría CP, no se rompería. Los físicos se consolaron con esta idea. Las leyes de la naturaleza, creían, no se violarían si uno se sitúa en un mundo especular en el que la materia fuera reemplazada por antimateria. Esto significa que si usted se encuentra con un extraterrestre no habría manera de distinguir si el alien proviene de nuestro mundo o de un antimundo. Un abrazo de bienvenida podría tener consecuencias desastrosas. Cuando la materia y la antimateria entran en contacto, ambas se aniquilan produciendo energía.



¿Un abrazo?

Antes espere a que la simetría esté clara. Si el alien está hecho de antimateria un abrazo convertiría a ambos en un estallido de energía.

Justamente esto fue lo que atrajo la atención sobre la fuerza débil en 1964. Una nueva violación de las leyes de la simetría tenía lugar en la desintegración de una extraña partícula llamada kaon (Premio Nobel concedido a James Cronin y Val Fitch en 1980). Una pequeña fracción de los kaones no seguían las leyes de la simetría especular y de carga; se rompía la simetría CP y se desafiaba la estructura misma de la teoría.

Pensando en un hipotético encuentro con extraterrestres ello podría ser una tabla de salvación. Sería suficiente preguntar al extraterrestre cómo se desintegra un kaón en su mundo, para así comprobar si estaba hecho de materia o antimateria, antes de darle un abrazo de bienvenida.

La primera persona que apuntó la decisiva importancia de la rotura de la simetría para la génesis del cosmos fue el físico ruso y Nobel de la Paz Andrei Sakharov. En 1967 estableció tres condiciones para la creación de un mundo como el nuestro, vacío de antimateria. En primer lugar, las leyes de la física deben distinguir entre materia y antimateria, lo cual es confirmado con la violación de la simetría CP; en segundo lugar que el cosmos se originó en el calor del Big Bang; y tercero que los protones de los núcleos se desintegren. La última condición daría lugar al fin del mundo ya que implica que toda la materia puede desaparecer. Pero hasta ahora eso no ha ocurrido y los experimentos demuestran que los protones permanecen estables durante 10^{33} años, un tiempo 10 trillones de veces superior a la

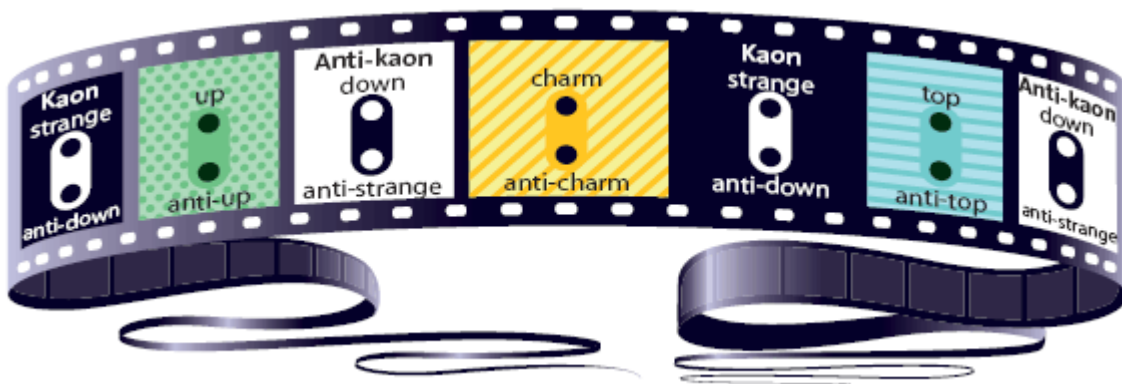
edad del universo, calculada en poco más de 10^{10} años. Aún no hay nadie que comprenda como la cadena de eventos prevista por Sakharov podría tener lugar en el universo temprano.

Resolviendo el misterio de la simetría rota

Es muy posible que las condiciones de Sakharov puedan ser eventualmente incorporadas al Modelo Estándar de la física. Entonces el excedente de materia creada en el momento del nacimiento del universo sería explicado. Esto, sin embargo, requeriría una violación de la simetría mucho mayor que la rotura de la doble simetría que Fitch and Cronin encontraron con su experimento.

De todas maneras la violación de la simetría encontrada en la desintegración del kaón, necesita de una interpretación; de otro modo el Modelo Estándar podría verse amenazado. La cuestión de por qué se rompe la simetría seguía siendo un misterio hasta 1972, cuando dos jóvenes investigadores de la Universidad de Kyoto, **Makoto Kobayashi** and **Toshihide Maskawa**, bien familiarizados con los cálculos de la física cuántica, encontraron la solución en forma de matriz 3×3 .

¿Cómo tiene lugar esta doble ruptura de la simetría? Cada kaón consiste en una combinación de quark y antiquark. La fuerza débil hace que ambos intercambien sus identidades continuamente: el quark se transforma en antiquark, mientras que el antiquark se transforma en quark, esto transforma un kaón en un antikaón. De esta manera el kaón “oscila” entre una partícula y una antipartícula. Pero si las condiciones son las adecuadas la simetría entre materia y antimateria se puede romper. La matriz obtenida por Kobayashi y Maskawa permite describir como se produce la transformación de los quarks.



La física cuántica está detrás de esta fantástica transformación

Un kaón puede “oscilar” entre un kaón y un antikaón. Todas las familias de quarks conocidas hoy podrían contribuir a un proceso en el cual se rompe la simetría en unos pocos casos. La explicación de lo que sucede ha sido dada por Kobayashi y Maskawa, Premios Nobel de Física de este año.

Resulta que los quarks y antiquarks intercambian sus identidades dentro de su familia. Si este intercambio de identidad, en el que se produce la ruptura de la doble simetría, tuviera lugar entre materia y antimateria, habría que añadir una nueva familia a las otras dos (ver ilustración del Modelo Estándar). Esto fue una proposición audaz que fue confirmada por experimentos posteriores. El quark encanto fue descubierto ya en 1974, el quark bottom en 1977 y el último, el quark top, más recientemente, en 1994.

Las factorías de mesones dan la respuesta

Era muy posible que la explicación de la ruptura de la simetría CP también diera una razón de por qué existían la segunda y tercera familia de partículas. Estas son semejantes a las de la primera en muchos aspectos, pero tienen una vida tan corta que no pueden formar nada duradero en nuestro mundo. Una posibilidad es que esas caprichosas partículas cumplieran una importante función al principio del tiempo cuando su presencia garantizó la ruptura de la simetría que hizo que la materia ganara a la antimateria. Cómo la naturaleza ha resuelto este problema, como ha sido dicho antes,

es algo que aún no conocemos con detalle. La creación de toda la materia contenida en las estrellas que pueblan nuestro cielo requiere que la simetría sea rota muchas, muchas veces.

La teoría de Kobayashi y Maskawa también indica que podría ser posible estudiar una importante violación de simetría en mesones-B, las cuales son diez veces más pesadas que sus primos los kaones. Sin embargo, esta rotura de la simetría ocurre muy raramente en mesones-B. Una inmensa cantidad de partículas son necesarias para encontrar unos pocos casos en los que se verifique la ruptura de la simetría. Dos enormes máquinas, el detector de partículas BaBar del SLAC en Stanford (California) y el Belle del KEK en Tsukuba (Japón), produjeron más de un millón de mesones-B diarios con el fin de estudiar su desintegración con detalle. Ya en 2001 ambos experimentos confirmaron, independientemente, la violación de la simetría de los mesones-B, exactamente como el modelo de Kobayashi y Maskawa había predicho 30 años antes.

Esto significó la confirmación del Modelo Estandar que ha funcionado bien durante muchos años. Casi todas las piezas que faltaban en el puzzle han sido halladas confirmando las predicciones más audaces. Sin embargo, los físicos aún no están contentos.

La simetría oculta bajo las violaciones espontáneas

Como ya se ha explicado, el Modelo Estándar integra todas las partículas elementales conocidas y tres de las cuatro fuerzas fundamentales. Pero, ¿por qué son estas fuerzas tan diferentes? ¿Y por qué las partículas tienen masas tan diferentes? La más pesada, el quark top, es más de tres mil cien veces más pesada que el electrón. ¿Por qué tienen todas masa?. La fuerza débil destaca en este aspecto una vez más: sus portadores, las partículas Z y W, son muy pesadas, mientras que el fotón, que transmite la fuerza electromagnética, carece de masa.

La mayoría de los físicos piensa que el llamado mecanismo de Higgs es el responsable de que la simetría original entre fuerzas fuera destruido, dando a que las partículas adquirieran su masa en las primeras etapas del universo

El camino hacia ese descubrimiento fue trazado por **Yoichiro Nambu** quien, en 1960, fue el primero en introducir la violación espontánea de la simetría en la física de las partículas elementales. Es por este descubrimiento por el que se le concede el Premio Nobel de Física. En un principio Nambu trabajó en cálculos teóricos de otro importante fenómeno en física, la superconductividad, que aparece cuando las corrientes eléctricas, de repente, fluyen sin ningún tipo de resistencia. La violación espontánea de la simetría que aparece en la superconductividad fue después trasladada por Nambu al mundo de las partículas elementales y las nuevas herramientas matemáticas impregnaron todas las teorías del Modelo Estandar.

Tenemos algunos ejemplos banales de violación espontánea de la simetría en la vida diaria. Un lápiz en equilibrio sobre su punta lleva una existencia totalmente simétrica en la cual todas las direcciones son equivalentes. Pero esta simetría se pierde cuando cae -ahora sólo una dirección cuenta - . Por otro lado su condición es ahora más estable, el lápiz no puede volver a caer, ha llegado a su nivel más bajo de energía.



Ruptura espontánea de la simetría

El mundo del lápiz es totalmente simétrico. Todas las direcciones son exactamente iguales. Pero la simetría se pierde cuando el lápiz cae. Ahora sólo una dirección cuenta. La simetría existente antes se oculta tras el lápiz caído.

El vacío tiene el nivel de energía más bajo posible en el cosmos. En efecto, un vacío en física es precisamente un estado con la menor energía posible. Sin embargo, no está totalmente vacío. Desde la llegada de la física cuántica, un vacío está lleno de una burbujeante sopa de partículas que aparecen e inmediatamente desaparecen en invisibles y ubicuos campos cuánticos. Estamos rodeados por campos cuánticos que se extienden por el espacio; las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza también son descritas como campos. Uno de ellos, el gravitacional, es conocido por todos nosotros. Es el que nos mantiene pegados a la tierra y determina lo que es arriba y lo que es abajo.

Nambu indicó que las propiedades del vacío pueden ser de gran interés para el estudio de la rotura espontánea de la simetría. Un vacío, que es el estado más bajo de energía, no se corresponde con el estado de mayor simetría. Tan pronto como el lápiz se cae, la simetría del campo cuántico queda rota y sólo una de las muchas direcciones posibles es elegida. En las últimas décadas los métodos de Nambu para tratar la violación de la simetría espontánea en el Modelo Estándar han sido refinados y actualmente son frecuentemente usados para calcular los efectos de la fuerza fuerte.

Higgs da la masa

La cuestión de la masa de las partículas elementales ha sido también contestada por la rotura de la simetría del hipotético campo de Higgs. Se piensa que en el Big Bang el campo era perfectamente simétrico y las partículas tenían una masa nula. Pero el campo de Higgs, al igual que el lápiz en equilibrio sobre su punta, no era estable, así que cuando el universo se enfrió el campo cayó al nivel de energía más bajo, su propio vacío, de acuerdo con la definición cuántica. Su simetría desaparece y el campo de Higgs se transforma en una especie de jarabe de partículas elementales; éstas interaccionaron de diferentes formas con el campo quedando con masas distintas. Algunos, como los fotones, permanecieron sin masa; pero por qué los electrones adquirieron masa es una cuestión que nadie puede responder actualmente.

Como otros campos cuánticos el campo de Higgs tiene su propio representante, la partícula de Higgs. Los físicos están ansiosos por encontrar pronto esta partícula en el más poderoso acelerador de partículas, el nuevo LHC en el CERN en Ginebra. Es posible que sean detectadas varias partículas de Higgs, o ninguna. Los físicos están preparados, la llamada teoría supersimétrica es la favorita entre varias para extender el Modelo Estándar. Otras teorías existen, algunas muy exóticas, otras menos. En todo caso, todas ellas serán simétricas, aun cuando la simetría puede que no sea evidente al principio. Pero estará allí, oculta en el aspecto aparentemente desordenado.

LINKS AND FURTHER READING

More information about this year's prizes, including a scientific background article in English, is to be found at the Royal Swedish Academy of Sciences' website, www.kva.se, and at <http://nobelprize.org>. You can also see the press conference there as web-TV. Further information about exhibitions and activities concerning the Nobel Prizes is available at www.nobelmuseum.se.

Popular scientific articles

Sarah Graham: "In Search of Antimatter", Scientific American, August 2001.

Helen Quinn, Michael Witherell: "The Asymmetry between Matter and Antimatter", Scientific American, October 1998.

Madhusree Mukerjee: "Profile: Yoichiro Nambu", Scientific American, February 1995.

Original scientific articles

M. Kobayashi, T. Maskawa: "CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction". Progress of Theoretical Physics 49 (1973) p. 652-657.

Y. Nambu, G. Jona-Lasinio: "A Dynamical Model of Elementary Particles based on an Analogy with Superconductivity II", Physics Review 124 (1961) p. 246.

Y. Nambu, G. Jona-Lasinio: "A Dynamical Model of Elementary Particles based on an Analogy with Superconductivity I", Physics Review 122 (1961) p. 345.

Earlier Nobel Prizes within the field

The Nobel Prize in Physics 1999: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1999/index.html

The Nobel Prize in Physics 1980: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1980/index.html

The Nobel Prize in Physics 1969: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1969/index.html

The Nobel Prize in Physics 1957: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1957/index.html

.....
THE LAUREATES

Yoichiro Nambu

University of Chicago
Department of Physics
Enrico Fermi Institute
5720 South Ellis Avenue
Chicago, IL 60637
USA
http://physics.uchicago.edu/research/areas/particle_t.html#Nambu
US citizen. Born 1921 in Tokyo, Japan.
D.Sc. 1952 at University of Tokyo,
Japan. Harry Pratt Judson Distinguished Service Professor Emeritus at Enrico Fermi Institute, University of Chicago, IL, USA.

Makoto Kobayashi

Japan Society for the Promotion of Science (JSPS)
Ichibancho Office 1
Sumitomo-Ichibancho Bldg., 6
Ichibancho
Chiyoda-ku
Tokyo 102-8471
JAPAN
www.kek.jp/intra-e/press/2007/EPSPrize2_e.html
Japanese citizen. Born 1944 in Nagoya, Japan. Ph.D. 1972 at Nagoya University, Japan.
Professor Emeritus at High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, Japan.

Toshihide Maskawa

Kyoto Sangyo University
Department of Physics
Motoyama
Kamigamo
Kita-ku
Kyoto-City 603-8555
JAPAN
www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/english
Japanese citizen. Born 1940. Ph.D. 1967 at Nagoya University, Japan.
Professor Emeritus at Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP), Kyoto University, and Professor at Kyoto Sangyo University, Japan