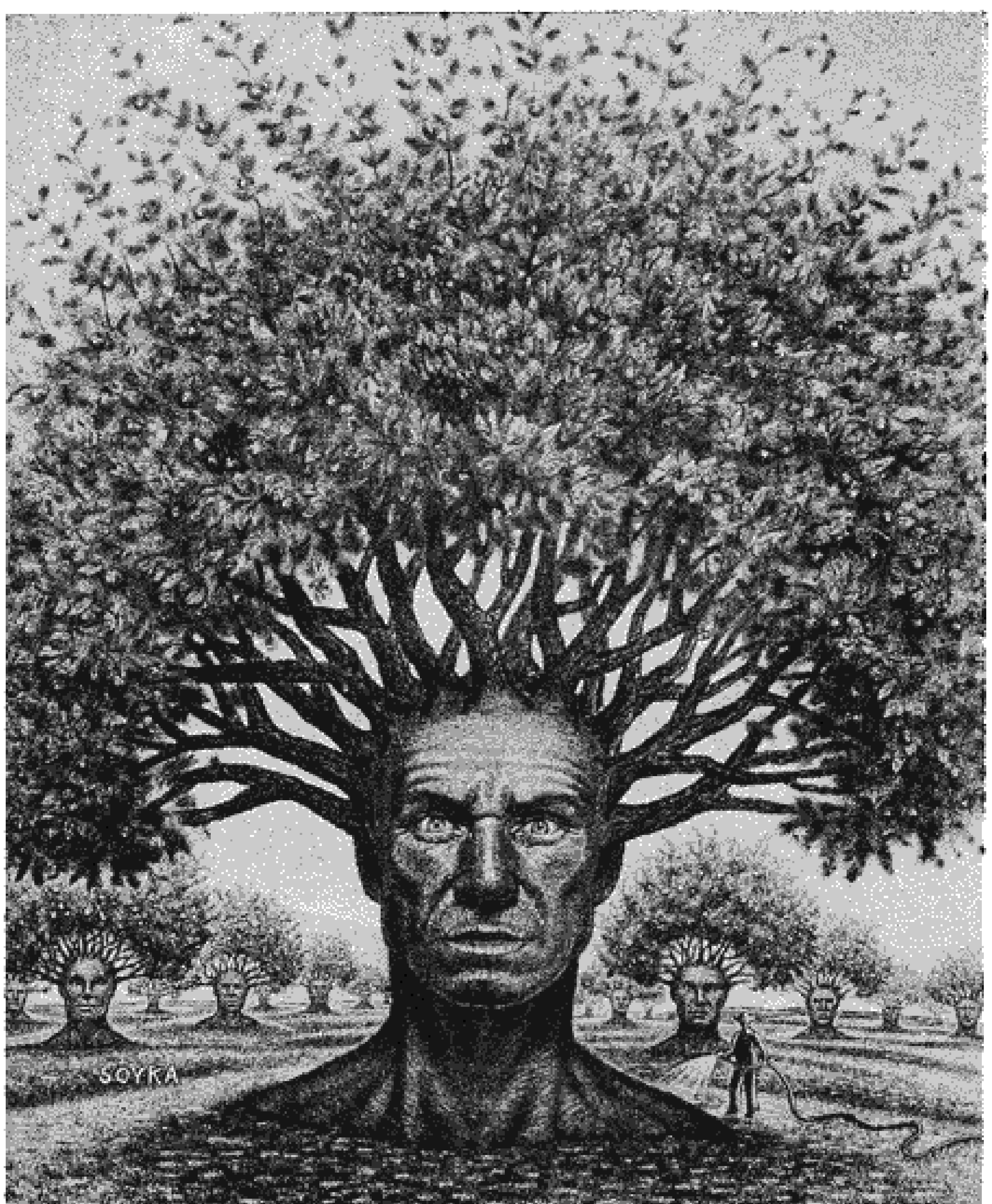
La "Susy" de los físicos

Las teorías contemporáneas de unificación de fuerzas han sido construídas usando simetrías abstractas. Los avances teóricos han predicho la existencia de partículas elementales hasta hoy desconocidas.

RODOLFO MARTINEZ R.*



Tomado de Scienze Digest, 1981

INTRODUCCION

La supersimetría ha atraído una enorme atención por parte de los físico desde por lo menos diez años, cuando Deser y Zumino propusieron una teoría satisfactoria de supergravedad en 1976[1]. De hecho se dice que actualmente una de cada 3 tesis en física teórica trata algún aspecto relacionado con el tema[2] (aunque no en el caso de México, donde no ha habido mucho interés). Para darse cuenta de la importancia de la supersimetría en el mundo basta, por ejemplo, revisar la producción de artículos del CERN que cada mes llegan a la biblioteca del IFUNAM y constatar la enorme importancia que ha adquirido la supersimetría.

Durante mucho tiempo se dijo que la supersimetría era una teoría interesante, pero que tenía que ver muy poco o tal vez nada con la realidad. Sin embargo los últimos desarrollos de esta teoría han cambiado por completo el panorama, basta citar como ejemplo la cuerda *heterótica* (algunos malignamente le dicen *autoerótica*) que da como límite de bajas energías a las representaciones no lineales de las teorías supersimétricas, resultados compatibles con la física ya conocida[3], que se ajustan perfectamente a las partículas e interacciones sin predecir

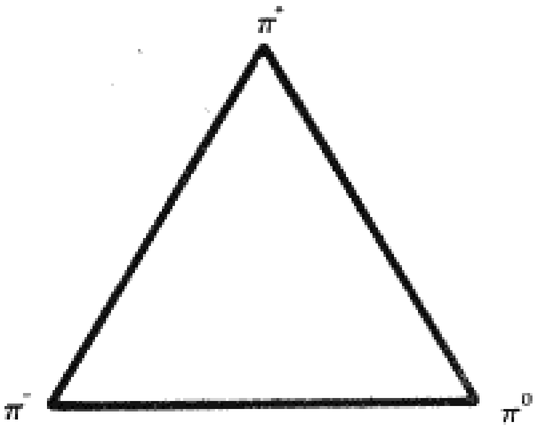
* *Profesor del Departamento de Física, Facultad de Ciencias, UNAM.*

nada descabellado (sólo duplican el sector de *Higgs*)[4], etc. Más aún, la supersimetría empieza a incidir en otras zonas de la física, como por ejemplo la mecánica estadística. Así hoy se sabe que una mecánica cuántica supersimétrica es equivalente a un proceso estocástico[5]. ¿Pero qué es supersimetría o susy, nombre femenino que atrae a los físicos?

Para entender a la supersimetría conviene discutir primero qué es una simetría. Todo el tiempo estamos en contacto con ellas y algunas nos son muy familiares, tenemos como ejemplo las geométricas. Un balón de fútbol que es redondo por todos lados y no cambia cuando lo rotamos, o un cuerpo humano que tiene 2 dos ojos, 2 brazos, 2 piernas, etc. (bueno al menos la mayoría) son casos de simetrías geométricas. Existen también simetrías dinámicas relacionadas con el tiempo, como puede ser el ritmo de una sinfonía o el ciclo día y noche. Estas simetrías las podemos observar directamente y podríamos llamarlas —abusando del lenguaje— "concretas". Pero existen otras simetrías no relacionadas directamente con nuestra experiencia diaria y que podríamos llamar "abstractas", como son las simetrías de espín isotópico y las simetrías de norma.

Las simetrías han jugado en la física un papel verdaderamente fundamental. Una de las razones de ésto radica en un resultado encontrado por la matemática Emmy Noether, ella dice que a cierto tipo de simetrías le corresponde una —o varias— cantidades conservadas. Así, si uno tiene una teoría física simétrica con respecto al origen del tiempo, o dicho de otra manera, que sea invariante bajo traslaciones en el tiempo, entonces la energía del sistema se conserva! Si es invariante bajo traslaciones, entonces lo que se conserva es el impulso[6].

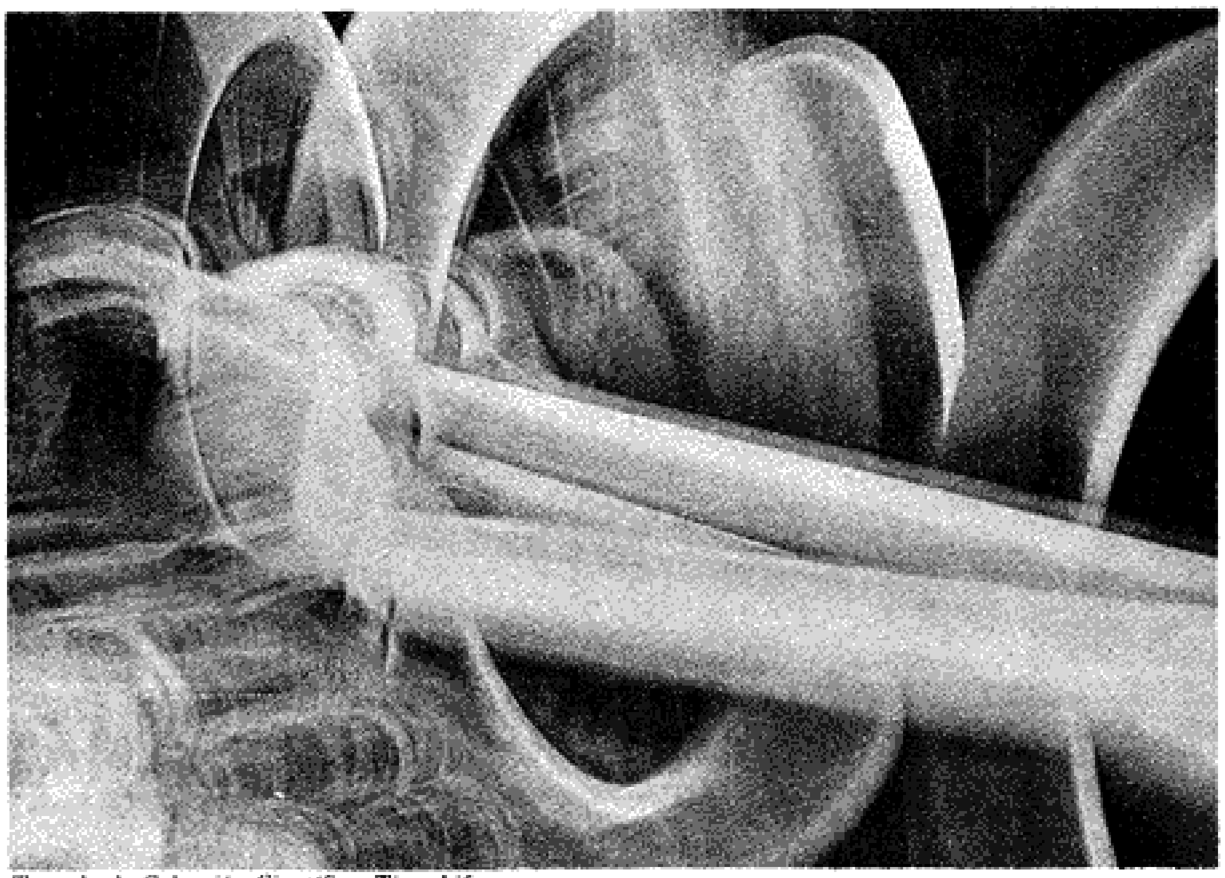
Pero no es la existencia de cantidades conservadas asociadas a la simetría lo único que hace a éstas interesantes. Hay muchas propiedades que se pueden deducir de la teoría de grupos, que es el lenguaje matemático de las simetrías. Por ejemplo, en el caso del espín isotópico ya citado la teoría física se construye de tal forma que tenga la simetría abstracta del grupo que los físicos llaman SU(2). Este grupo se puede visualizar en algún sentido como un grupo de rotaciones en tres dimensiones. Tomemos el caso de las partículas π^+, π^- y π^0 (mesones π), que se encontraron por primera vez en la radiación proveniente del espacio, llamada radiación cósmica. El modelo matemático, simétrico bajo las rotaciones de SU(2), coloca a los tres mesones en un triplete como en el de la figura:



la simetría dada por SU(2) pide que las masas de los tres mesones sean iguales. Los datos experimentales revelan que la masa del π^- es de 139 Mev, la del π^+ 139 Mev y la del π^0 135 Mev. Lo cual es una buena aproximación[7]. La razón de que el resultado no sea exacto radica en la presencia de objetos cargados eléctricamente en todo el universo. Esta simetría no es exacta, sino que se encuentra parcialmente rota.

Otro ejemplo interesante de simetría abstracta son las teorías de norma[8,9]. Aquí la simetría está íntimamente relacionada con la teoría, al grado tal que le da forma. La idea consiste en establecer la simetría pero localmente, es decir, pedir que las transformaciones de simetría sean diferentes en cada punto del espacio y del tiempo. Las teorías de norma se pueden ilustrar con el ejemplo del globo. Si tomamos un globo donde el espesor del hule es siempre el mismo, al inflarlo lo que obtenemos es una esfera, y es por supuesto invariante bajo rotaciones "globales" (pero no globales de globo sino que el ángulo de rotación no depende ni del espacio ni del tiempo, sino que es constante). Además el campo de fuerza que mantiene su forma al globo, tiene también una simetría esférica. Si ahora suponemos que el globo está formado por un hule cuyo grosor cambia en cada punto de éste, entonces al inflarlo no obtendremos más una esfera, podemos obtener por ejemplo una salchicha y el campo de fuerza no tiene la simetría esférica. Algo análogo sucede con las teorías de norma. Al pasar de una teoría invariante bajo una simetría global a una simetría local, es necesario introducir nuevos "campos de fuerza", que los físicos llamamos campos de norma, para poder mantener la simetría. Lo interesante en este asunto es que de paso entendemos las características y estructuras de los campos de norma. Así, conocer la simetría de una teoría (simetría del tipo de norma, o sea simetría local) nos permite conocer el

La teoría de la relatividad general explica a la gravitación en términos de deformaciones del espacio-tiempo.

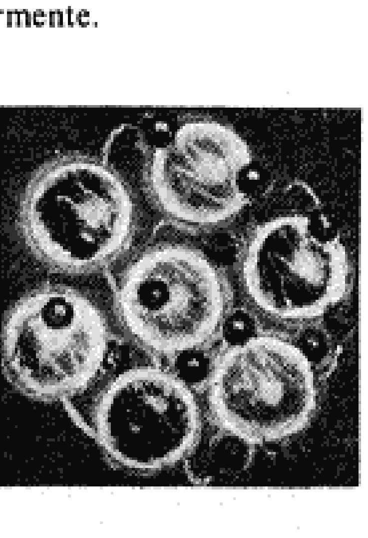


Tomado de Colección Científica, Time Life campo o los campos de fuerza asociadas a éstas y por lo tanto conocer a la teoría misma.

Este procedimiento es además relativamente sencillo porque en lugar de tratar de cubrir los intrincados aspectos de una teoría física, basta con conocer su simetría, para tener toda la información. Conviene señalar que estas simetrías de norma incluyen al electromagnetismo invariante bajo rotaciones en un plano (denotadas por U(1)), y a la interacción débil, responsable de ciertos aspectos de la radioactividad que hoy se sabe que junto con el electromagnetismo forma parte de una teoría más general llamada electrodébil, y en cuya simetría aparece de nuevo el grupo SU(2) del espín isotópico ya mencionado anteriormente (parece ser que SU(2) es un grupo bastante popular entre los físicos). Dentro de las teorías de norma también hay que incluir a la cromodinámica cuántica que es la teoría del núcleo del átomo. Tal vez hasta sea posible unificar al electromagnetismo, a las interacciones débiles y a la Cromodinámica Cuántica en una sola teoría como ya se hizo con el electromagnetismo y las interacciones débiles, para esto bastaría conocer la simetría unificadora.

La idea central de la unificación es que exista un grupo que describa las simetrías de las tres interacciones. Así, cuando el universo se formó y aún estaba muy caliente, las tres interacciones eran en realidad una sola, pero a medida que el universo se fue enfriando, cada interacción se "separó" de las otras actuando por su cuenta y actualmente se presentan independientes una de otras. Para probar las teorías unficadoras se están construyendo nuevas generaciones de aceleradores como el SLC (Stanford Linear Collider) en los EE.UU. o el LEP (Anillos de Colisión Gigantes) en el CERN en Suiza. Estos aceleradores permitirán crear las condiciones que prevalecían en el universo cuando éste sólo era un bebé[10]. Finalmente es necesario señalar que la gravitación también es una teoría de norma, aunque de un tipo muy distinto a las señaladas anteriormente.

Tomado de Science Digest, 1981

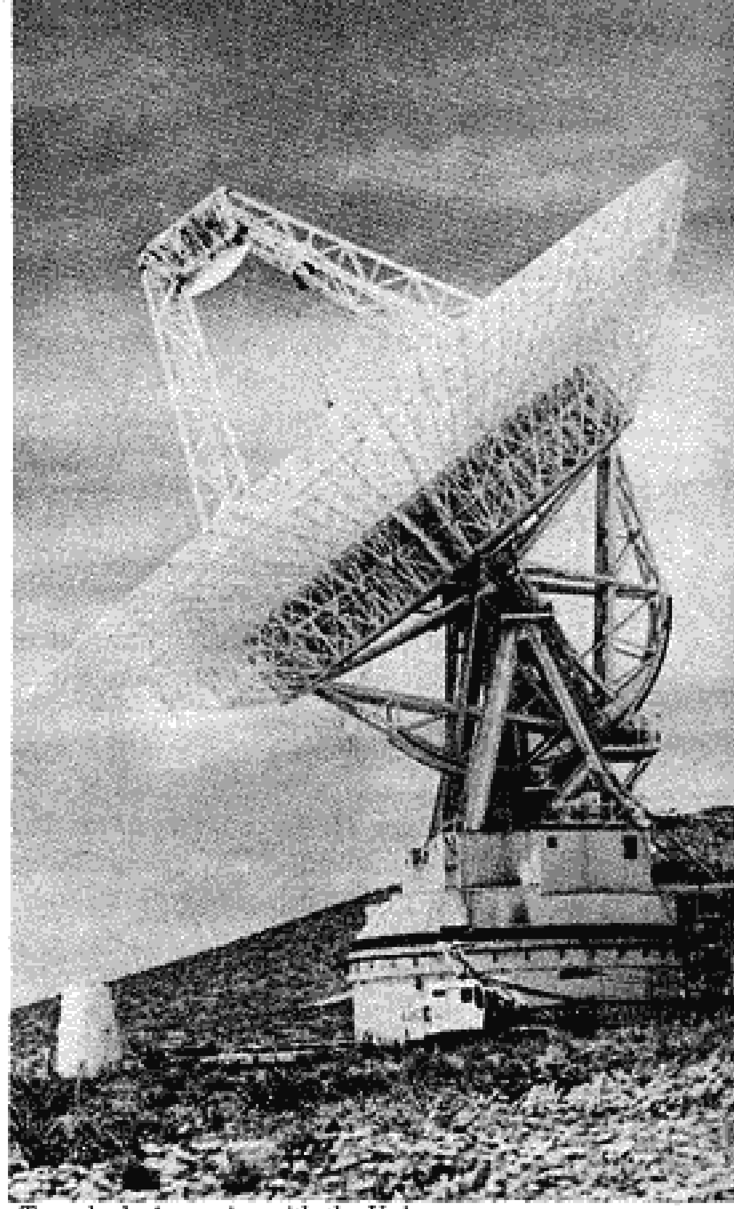


En todas estas simetrías hay sin embargo un punto que ha molestado a los físicos durante muchos años; se trata del espín. El espín es una de las características de las partículas que los físicos llaman números cuánticos. El espín en sistemas macroscópicos clásicos es en realidad un giro. Así las cosas, el espín es un giro pero para el mundo microscópico. En ciertas unidades el espín de las partículas resulta en un caso ser un número entero como el 0, 1, 2, etc., o en el otro caso resulta ser un número semientero como el 1/2, 3/2, etc. Cuando una partícula tiene un espín entero, se le llama bosón, y cuando el espín es semientero se le llama fermión. Ahora bien, los bosones y los fermiones son muy diferentes entre sí; los bosones son más bien "democráticos". Uno puede tener cuantos bosones desee con las mismas características de energía, espín, momento angular, etc. en un sistema dado. El fermión en cambio no permite otro igual en el mismo sistema, es un "aristocrático" que obedece al famoso "principio de exclusión" de Pauli, el cual sostiene precisamente que dos fermiones con iguales características no pueden existir en el mismo sistema. Este principio de exclusión es en realidad el equivalente microscópico al hecho macroscópico de que dos objetos no pueden ocupar el mismo lugar en el espacio.

Bosones y fermiones son entonces muy diferentes, y los sistemas compuestos de bosones se van a comportar muy diferentemente a sistemas de fermiones. ¿ Pero existen a pesar de las diferencias semejanzas entre bosones y fermiones? ¿Es posible crear una teoría que sólo tome en cuenta las semejanzas entre bosones y fermiones? ¿Y cómo sería esta teoría? Esta teoría existe y se llama supersimetría. Las teorías usuales no pueden tratar a los fermiones y bosones en el mismo pie de igualdad, la razón radica en el famoso teorema de Coleman-Mandula[11] que lo prohibe. ¿Cómo se las arregla entonces la supersimetría? Para entender lo que hacen las teorías supersimétricas necesitamos invocar la noción del vacío. En física el vacío no es exactamente "nada", sino aquel estado físico donde no hay materia. Aunque parezca raro, para los físicos el vacío tiene una estructura. Los físicos emplean el siguiente signo para el vacío:

$$| 0 >$$

El estado de una partícula se denota como $| 1 >$. Ahora bien, para tener un estado de una partícula a partir del vacío, los físicos emplean un objeto mate-



Tomado de A meeting with the Universe

En 1965 Wilson y Penzias descubieron accidentalmente una radiación de 3° Kelvin proveniente de todos los rincones del Universo. Se trata de un vestigio de épocas cercanas a la gran explosión, poco después de que todas las fuerzas estaban aún acopladas.

mático que tiene el bíblico nombre de operador de "creación", que al multiplicarlo por el vacío da como resultado el estado de una partícula. Denotemos como a+ el operador de creación:

$$a^{+} \mid 0 > = \mid 1 >$$

Evidentemente, como los fermiones y bosones son distintos, los operadores de creación de partículas fermiónicas tienen propiedades diferentes a los operadores de creación o bosónicos. En particular, si a^{+} y b^{+} son operadores fermiónicos, los físicos piden que el estado de dos partículas, obtenidas al multiplicar los operadores por el vacío

$$| 2 > = a^{+} b^{+} | 0 >$$

sea asimétrico, es decir

$$a^{+}b^{+} \mid 0 > = - b^{+}a^{+} \mid 0 >$$

o sea aquí, como en la cocina, el orden de los factores sí altera el producto. Más aún, debido al principio de exclusión de Pauli no se pueden tener dos fermiones iguales en el mismo sistema, por lo que:

$$a^{+} a^{+} \mid 0 > = 0 \quad \text{i.e. } a^{+2} = 0$$

Es decir, tenemos una estructura matemática de objetos que anticonmutan, incluso consigo mismo! Es esta la manera de darle la vuelta al famoso teorema de Coleman-Mandula. En efecto, los grupos que se emplean en la demostración del teorema son del tipo "álgebras de Lie", que se conocen si sabemos cómo conmutan las diferentes cantidades del grupo en cuestión. Pero si extendemos las álgebras de Lie para incluir cantidades que anticonmutan, el teorema deja de ser válido. Así nacen las llamadas "Superálgebras" [9], que emplean en su estructura matemática conmutadores y anticonmutadores a la vez, las cuales son el lenguaje matemático apropiado para tratar las propiedades de simetría de los bosones y fermiones.

Cuando se estudian a las superálgebras se encuentra que éstas se pueden construir si uno inventa "números" que anticonmuten, llamados de Grassmann. Los denotaremos por Θ. Las teorías físicas dependen entonces de estos números de Grassmann y se hacen supersimétricas al pedir invariancia bajo traslaciones[12, 13].

$$\Theta \rightarrow \Theta + \epsilon$$

donde ϵ es una constante también de Grassmann.

Al imponer invariancia bajo traslaciones, los físicos pueden construir teorías que toman en cuenta las semejanzas y no las diferencias que hay entre bosones y fermiones. Más aún, como en el caso de las teorías de norma, al conocer la simetría se conoce la forma de la teoría, uno no puede poner cualquier teoría y hacerla invariante bajo traslaciones, es decir, hacerla supersimétrica. Sólo si la teoría es de cierta forma se puede trabajar con éxito.

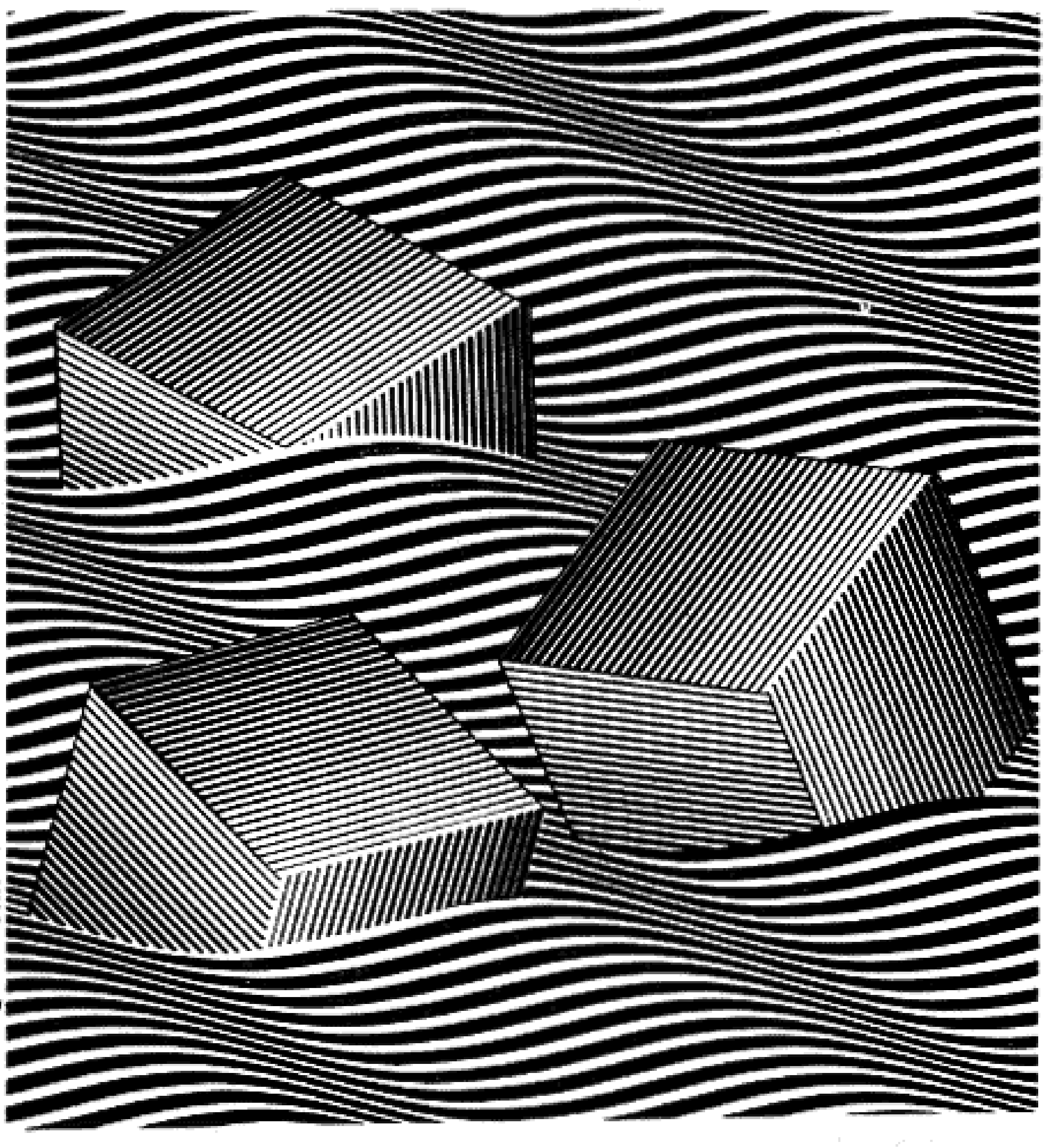
Un punto interesante de las traslaciones en Grassmann es que si se hacen dos traslaciones, una seguida de la otra, se obtiene una traslación en el espacio-tiempo usual. Cuando el parámetro ϵ se hace local, o sea, que su valor depende del punto del espacio y del tiempo, entonces dos traslaciones supersimétricas locales dan una traslación en el espacio-tiempo local. Como la teoría que es invariante bajo traslaciones locales es la teoría de la gravitación de Einstein, a la teoría invariante bajo traslaciones de Grassmann locales, se le llama supergravedad y es la "raíz cuadrada" de la gravitación, en el sentido de que se necesitan dos supertraslaciones locales para obtener una traslación local "usual" en el espacio-tiempo. Una de las predicciones de la supergravedad es la existencia de una nueva partícula, aún no descubierta y cuyo espín es de 3/2 llamada gravitino, la cual es responsable de la supergravedad en el mismo sentido en que los campos de norma son responsables de las interacciones de norma.

La supersimetría usual le asocia a cada bosón conocido un compañero fermiónico y viceversa, pero de la misma masa. Se trata de su compañero supersimétrico. Para una masa dada hay además tantos bosones como fermiones. Así por ejemplo al bosón W, responsable de la interacción débil, se le asocia su compañero supersimétrico hipotético, el "Wino", a la partícula *Z* el "Zino", etc. (ver tabla I)[15].

Esta característica de la supersimetría es en principio un defecto. Es poco probable que haya tantas partículas. De hecho las supersimetrías están caracterizadas por un número N que permite encontrar el número de partículas de una teoría supersimétrica y que se encuentra relacionado con el espín. Por diversos motivos la supersimetría con $N = 8$ es una de las más viables. Sin embargo esta teoría tiene $2^8 = 256$ partículas. Teorías más realistas que emplean propiedades no lineales de la supersimetría no tienen más partículas que las usuales[14].

Otra de las teorías supersimétricas realistas es la de las supercuerdas. Estas teorías son una curiosa mezcla de modelos de cuerdas como las de un violín con supersimetrías, y cuyo propósito último es explicar la estructura de la materia. Los primeros modelos de cuerdas eran muy extraños, por ejemplo, sólo tenían sentido en 26 dimensiones! y además estaban plagadas de cosas como partículas más veloces que la luz (taquiones). Muchos de los científicos que trabajaron en los inicios de las teorías de las cuerdas no eran, por supuesto, muy bien vistos, pues sus resultados eran absurdos. Históricamente el origen de los modelos de cuerdas aparece antes de la supersimetría, hacia los años 60 con los modelos duales que se emplearon para explicar ciertas propiedades de la materia formada por los cuarks o materia hadrónica cuando chocan entre sí bajo la influencia de las interacciones fuertes. El contenido de las interacciones fuertes es explicado precisamente por la cromodinámica cuántica, una de las teorías de norma ya mencionadas. Posteriormente aparece el modelo de

Las simetrías geométricas están relacionadas con la existencia de estados distinguibles entre sí. El paso de una a otra puede hacerse por medio de rotaciones, reflexiones, etc.



Gelsen Gas

MODELO USUAL DE PARTICULAS ELEMENTALES SUPERSIMETRICAS

A las partículas de la columna de la izquierda, que se observa en la Tabla I y que forman parte del modelo estandar, se les añaden en el modelo supersimétrico las partículas de la columna de la derecha. Se inventa un nuevo número "R" igual a 3B + L + 2S. Para las partículas usuales R es par, en tanto que para los compañeros supersimétricos R es impar. En una reacción entre partículas la paridad de R se conserva, de tal forma que una partícula con R impar, por ejemplo, no se puede desintegrar en partículas con R par, a pesar de que no haya ninguna otra razón para que se produzca la desintegración. Esta es una prueba que los físicos pretenden emplear para detectar a los compañeros supersimétricos de las partículas usuales. De acuerdo con las teorías supersimétricas lineales, el compañero supersimétrico de una partícula tiene la misma masa que la partícula. Esto claramente es falso, por ejemplo, se podrían formar átomos con selectrones, los compañeros supersimétricos del electrón pero con espín 0. Estos átomos no han sido detectados. Lo que se piensa, es que la supersimetría debe estar rota y entonces los selectrones son mucho más pesados que los electrones, por eso no se detectan... En las supersimetrías no lineales este tipo de predicciones tan forzadas no existen.

TABLA I

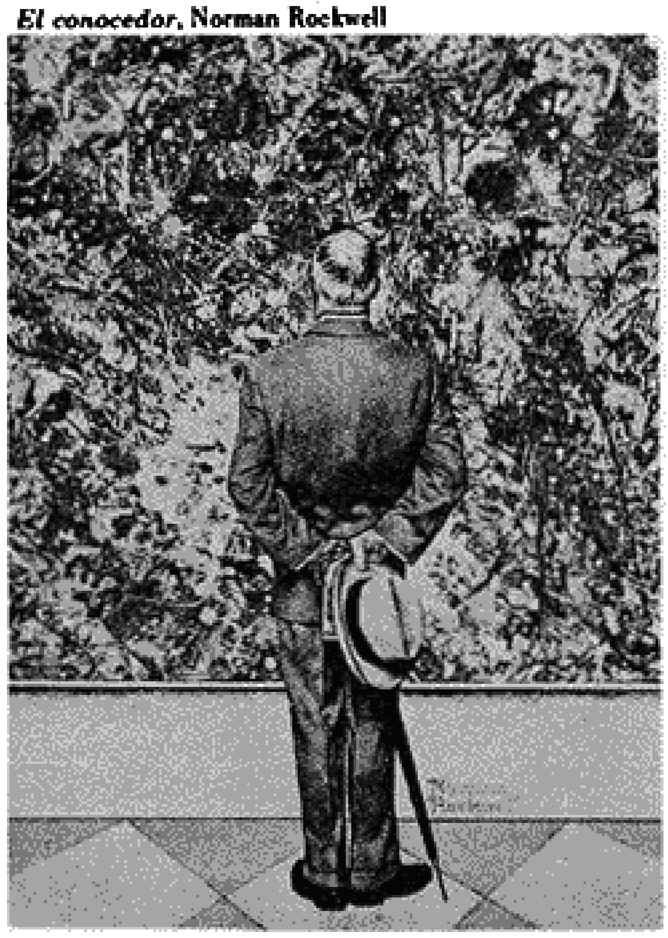
Partícula		*Compañero Supersimétrico*		
Cuarks	B = 1/3 L = 0 S = 1/2 R = 3B + L + 2S = 2	"Scuarks"	B = 1/3 L = 0 S = 0 R = 1	Fermiones, compañeros supersimétricos bosónicos
Leptones	B = 0 L = 1 S = 1/2 R = 2	Sleptones	B = 0 L = 1 S = 0 R = 1/2	
Fotón	B = 0 L = 0 S = 1 R = 2	Fotino	B = 0 L = 6 S = 1/2 R = 1	
Gluon	B = 0 L = 0 S = 1 R = 2	Gluino	B = 0 L = 0 S = 1/2 R = 1	
W^+ W^- y Z^0	B = 0 L = 6 S = 1 R = 2	Winos Zino	B = 0 L = 0 S = 1/2 R = 1	Bosones, compañeros supersimétricos fermiónicos.
Gravitón	B = 0 L = 0 S = 2 R = 4	Gravitino	B = 0 L = 0 S = 3/2 R = 3	
Higgs	B = 0 L = 0 S = 0 R = 0	Higgsino	B = 0 L = 0 S = 1/2 R = 1	

Veneziano que esencialmente establece una fórmula sin base teórica alguna, pero que explica muchas cosas de las interacciones entre hadrones. Entonces Y. Nambu en Chicago, junto con T. Goto, H. B. Nielsen en Copenhague y L. Susskind en Stanford, mostraron que la fórmula de Veneziano se podría obtener de un modelo de cuerda si se supone que los armónicos de las vibraciones de la cuerda corresponden a los hadrones conocidos! Algo realmente notable. Pero lo que finalmente le dio un gran impulso a las teorías de cuerdas fue la supersimetría, debido a que una teoría de cuerdas supersimétrica contiene a la gravitación.

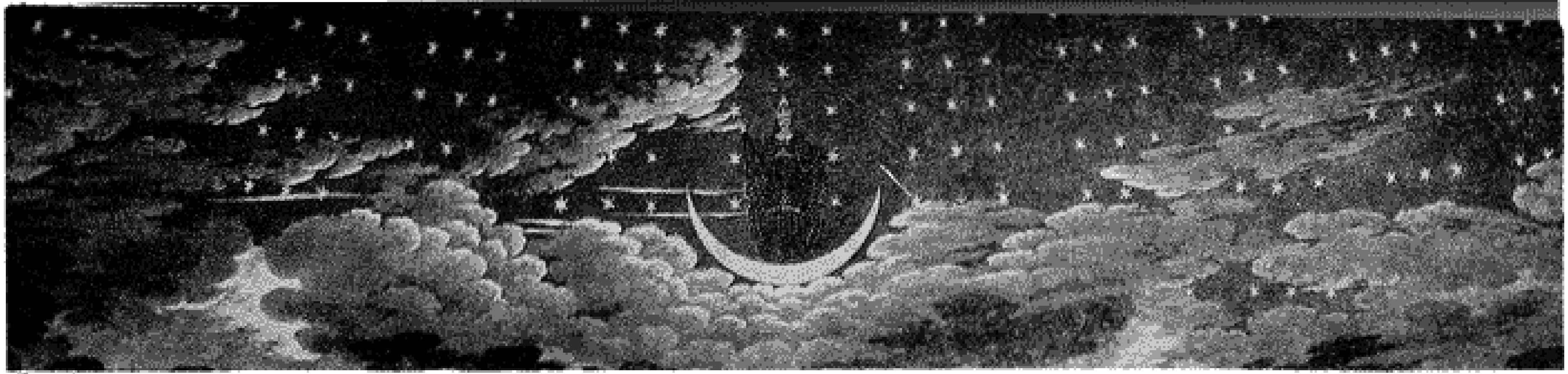
Incluir a la gravedad ha sido siempre un problema en las teorías cuánticas, que son la teoría de lo muy pequeño en física. Toda teoría si quiere explicar al mundo de lo pequeño debe ser entonces cuántica, así sea una teoría de norma, o una teoría supersimétrica o cualquier otra teoría. Pero en cuántica existe el famoso principio de incertidumbre de Heisenberg, el cual establece que entre más pequeña sea una medida (por ejemplo, el diámetro de una partícula) mayor incertidumbre en el momento o la energía del sistema donde se realiza la medida. Si queremos describir cosas del orden de 10^{-15} cm (distancia de Fermi) la incertidumbre en la energía es tan grande que se pueden crear fluctuaciones en el vacío capaces de formar inclusive hoyos negros!

Puede parecer extraño que del vacío aparezcan hoyos negros, pero como ya se dijo, en física el vacío tiene una cierta estructura formada esencialmente por partículas "virtuales". Partículas que están en el vacío y no se pueden detectar. Cuando la energía es suficientemente grande, entonces se pueden materializar (como fantasmas que vienen de otro mundo y se materializan en el nuestro) y después volver a desaparecer. La ener-

El conocedor, **Norman Rockwell**



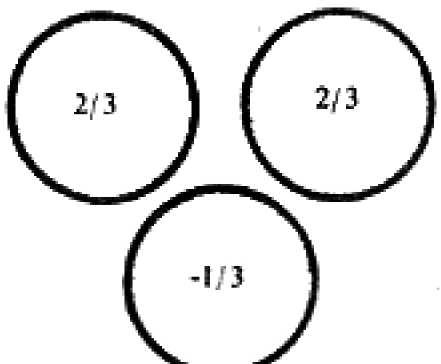
Las simetrías y los espacios de dimensión superior a 4 son la piedra angular de las teorías de unificación de fuerzas. Los avances son considerables, sin embargo todavía queda mucho por hacer.



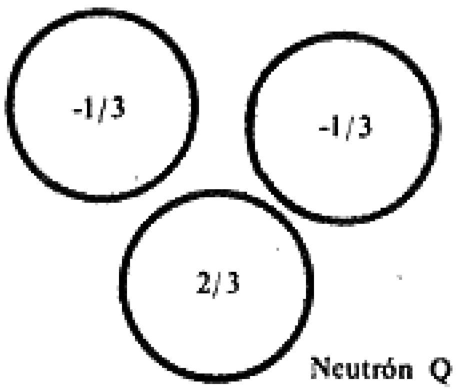
Tomado de Astrology

MODELO USUAL

La materia está formada por Cuarks, Bosones de norma y Leptones. Así por ejemplo, un protón está formado por dos Cuarks **u** y un Cuark **d**. Hay además 3 "colores" de Cuarks y 6 "sabores" como los helados. La denominación del color es convencional, los cuarks no pueden tener color real, pero como cada cuark puede existir en tres versiones distintas con las mismas características de masa, carga, etc., se inventó el color para distinguirlos. Los sabores corresponden a los distintos tipos de cuarks (**u,d, s, c, t,** y **b**). Los bosones de norma son los responsables de las fuerzas entre partículas. Si dos partículas intercambian entre sí un bosón de norma, entonces interactúan. Como dos amantes que se intercambian una carta de amor, pueden pasar varias cosas. Pueden por ejemplo atraerse o rechazarse. Si la partícula intercambiada es un gravitón, se dice que interactúan gravitacionalmente atrayéndose mutuamente. Si se intercambian un fotón, entonces se pueden atraer o rechazar eléctricamente. Si lo que se intercambian es un W^+, W^-, o Z^0, entonces interaccionan débilmente y el resultado puede ser su desintegración. Finalmente los protones del núcleo del átomo se mantienen pegados entre sí porque se intercambian gluones (¿pegamentones?, ¿resistolones?, ¿kolalocones?). Los Higgs (ver Tabla I) son partículas hipotéticas muy raras. La materia no tiene masa pero al interaccionar con los Higgs la adquiere. Como la materia que tiene masa la tiene donde sea, entonces los Higgs como dios, están en todas partes. Como además el valor de la masa de una partícula no cambia en ningún lugar, entonces el número de Higgs es siempre el mismo en cualquier parte del espacio. En física el vacío es ausencia de partículas y es además el estado físico con menos energía o estado base, pero los Higgs contrariamente al resto de la materia tiene un valor no nulo en el vacío, o sea hacerlos desaparecer ¡requiere energía en lugar de darla! La situación es tal que, como Veltmann[16], no entendemos cómo hacemos para ver las estrellas a través del vacío. Finalmente están los leptones, como por ejemplo el electrón. Los leptones tienen la extraña característica de no poder intercambiar glucones entre sí, o dicho de otra forma no pueden interaccionar fuertemente. El modelo standar sostiene además que la materia es puntual, en el sentido de no ocupar volumen, no de llegar a tiempo a las citas (cuarks, leptones, etc.) o sea que no ocupa volumen en el espacio. Además como la materia no tiene masa si no es por los Higgs, el autor empieza a preguntarse si de veras existimos.

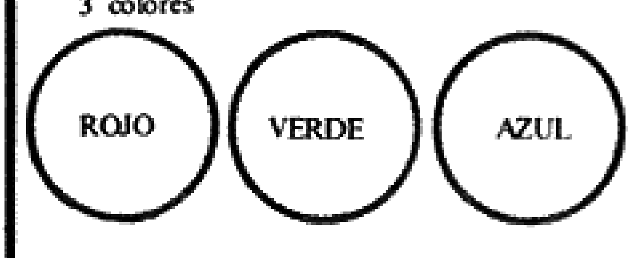


Protón Q = 1 (carga)



Neutrón Q = 0

3 colores



MODELO USUAL

	u	*d*	*s*	*c*	*t*	*b*
Sabores	arriba	abajo	extraño	encanto	cima ó verdad	fondo o belleza
Masa (Mev)	310	310	505	1500	22500 (hipotético)	5000
Carga	2/3	-1/3	-1/3	2/3	2/3	-1/3

BOSONES DE NORMA

	Gravitón	fotón	W^+	W^-	Z^0	Bosones de color o Gluones (8 diferentes)
Carga	0	0	1	-1	0	2 neutrones y 6 cargados (±1)
masa	0	0	81	81	0	0
Espín	2	1	1	1	1	1
Higgs (Θ) (?)	son de espín cero					

LEPTONES

Electrón	e^-	0.511	-1
Neutrino	ν_e	0.0	0
Muón	μ	1 106.6	-1
Neutrino muónico		0.0	0
Tao	μ	1 784.0	-1
Neutrino tao		< 164.0	0

Tomado de Omni, 1983.

La gravedad es la fuerza más débil, sin embargo es ineludible. Los escudos antigravedad son hasta ahora sólo parte de los relatos de ciencia-ficción.

gía se conserva porque después de aparecer vuelven a desaparecer y sólo se materializan durante el corto tiempo que dura la fluctuación. Estas fluctuaciones deben tener una energía de alrededor de 10^9 Mev. A este valor se le llama energía de Planck. En tales condiciones una teoría cuántica simplemente no funciona. Cualquier cálculo da resultados infinitos.

Las cuerdas no tienen el problema anterior porque una cuerda supersimétrica modifica los resultados de la gravitación a muy corta distancia. La idea del espacio curvo, central en la teoría de gravitación de Einstein, debe ser sustituída por un espacio mucho más rico formado por todas las configuraciones de la cuerda. Las cuerdas supersimétricas, además de incluir a la gravedad, incluyen a las teorías de norma como límite de bajas energías. Pero lo más importante es que el grupo no es arbitrario, como en el caso de las teorías de norma donde uno tiene la libertad de elegir el grupo de simetrías sin tener prácticamente ninguna restricción teórica. En teorías de cuerdas, el grupo queda fijo al pedir la coherencia matemática de la teoría. Los grupos obtenidos hasta ahora en las teorías de "supercuerdas" son compatibles con los grupos de norma viables para hacer una teoría de unificación.

Otro punto interesante de las supercuerdas es que sólo se pueden hacer compatibles con la relatividad en once dimensiones, 1 dimensión temporal y 10 espaciales. Sin embargo, hasta donde nos hemos podido dar cuenta vivimos en un espacio de 4 dimensiones donde 3 son espaciales. ¿Qué sucede entonces? Aparentemente 7 dimensiones han quedado "enrrolladas" desde que se inició el universo y sólo las otras 4 se extendieron hasta formar el espacio tradicional en que vivimos. Así, no observamos a las otras 7 dimensiones esencialmente por ser muy pequeñas. El estudio de las propiedades geométricas (topológicas) de los espacios de 11 dimensiones asociadas a las supercuerdas han dado resultados sorprendentes. Como por ejemplo el número de leptones que deben existir en la naturaleza.

Todas estas predicciones y muchas más son consecuencia solamente de pedir una teoría supersimétrica de cuerdas coherente matemáticamente, sin necesidad de introducir hipótesis apropiadas o tener conocimientos previos sobre la estructura de la materia. Es más bien al revés, es decir, establecida la coherencia matemática de la teoría de las predicciones física sobre la naturaleza íntima de la materia, aparecen. Con la capacidad de predecir el comportamiento sobre cosas a las que actualmente no tenemos acceso, como son las condiciones prevalecientes durante el origen del universo.

REFERENCIAS

1. Deser, S. y B. Zumino. **Consistent Supergravity.**
2. **European Journal of Physics 6** (4):218. 1985.
3. Green, M.B. Superstrings. **Scientific American**. Septiembre 1986.
4. Cooper, L. y B. Freedman. Aspects of Supersimetric Quantum Mechanics. **Annals of Physics 146**. pág. 262-268. 1983.
5. *Idem.*
6. Ver Martínez, R. **Notas del curso Mecánica Cuántica Relativista**, también en Itzykson y Zuber, **Quantum Field Theory**. McGraw Hill, New York, 1981.
7. Close, F.E. **An Introduction to Quarks and Partons.** Academic Press, New York, 1979.
8. Abers, E.A. y B. W. Lee. Gauge Theories. **Reports 9C**, 1973.
9. Martínez, R. Simetrías e Interacciones en Física. **Ciencias 2**, julio-agosto de 1982.
10. SLC el rival norteamericano de los anillos del CERN. **Mundo Científico** 31. 1983.
11. Van Nieuwenhuisen, P. Supergravity. **Physics Reports 68 (4)**. 1981.
12. Porter, E. y R. Martínez. **Supersimetría**. Preprint, F.C. UNAM. 1986.
13. Wess, F. e I.Bagger. **Supersimetry and Supergravity.** Princeton Series on Physics, 1983.
14. Samuel, S. Secrest Supersimetry in Nature. **Physics 15D**. 1985. pp. 173-180.
15. Haber, H.E. y G.L. Kane. Is Nature Supersimetric? **Scientific American 256** (6). Junio de 1986.
16. Veltmann, M.J.G. El Boson de Higgs. **Scientific American 255** (5). Noviembre de 1986.

En el mundo de las supersimetrías las distancias son extremadamente pequeñas. En contraparte, las energías necesarias para sondearlo son extremadamente altas.

Tomado de Biblioteca Salvat