

Ensayos

Asimetría izquierda-derecha en el mundo viviente

desde el punto de vista de la física de las partículas elementales

Resumen

Como es bien sabido, todas las formas de vida sobre la Tierra consisten sin excepción en L-aminoácidos y D-ribosa, y presentan una asimetría quiral izquierda-derecha a escala microscópica. ¿Cuándo y cómo quedó determinada la presente orientación quiral en el mundo viviente? La física de las partículas elementales propone una posible respuesta a estas preguntas. La Química y la Biología han sido explicadas tradicionalmente en términos de las fuerzas electromagnéticas, pero desde el punto de vista de la física de partículas elementales, es necesario tomar en cuenta los efectos de la corriente neutral débil. Debido a que está violada la paridad espacial, las moléculas del tipo D y L, que consisten de materia regular, pierden su simetría debido a la interacción realizada a través de esta corriente, lo que provoca una minúscula diferencia en su estabilidad. Podemos suponer que todas las formas vivientes tenían inicialmente aminoácidos tanto del tipo D como del tipo L, con un ligero exceso del segundo, y que este fue amplificado a través del proceso de evolución, lo que provocó que todos los organismos vivos consistieran exclusivamente de L-aminoácidos. En este trabajo revisaremos brevemente la situación actual de las teorías de la fuerza electrodébil y de la violación de la paridad, y trataremos de explicar el origen de la asimetría izquierda-derecha en el mundo viviente desde tal punto de vista.

Abstract

It is a well known fact that all forms of life on earth are, without exception, made up of L-amino acids and D-ribose, and they have a left-right chiral asymmetry on a microscopic level. When and how did this chiral orientation become fixed in the living world? Particle physics offers a possible answer to these questions. Chemistry and biology have been traditionally explained in terms of electromagnetic forces; however, from the point of view of elementary particle physics, it is necessary to take into account the effects of weak neutral current. Since this violates spatial parity, type D and L molecules, which consist of regular matter, lose their symmetry due to the interaction brought about by this current, and this produces a miniature difference in its stability. We can assume that all living forms initially had both type-D and type-L amino acids, with a slight excess of the second type. This gradually increased throughout the process of evolution and in turn resulted in all living organisms having exclusively L-amino acids. In this study we briefly review the present state of the theories of weak electro forces and the violation of parity, and from this point of view we try to explain the origin of left-right asymmetry in the living world.

Abstrait

Comme chacun sait, toutes les formes de vie sur Terre sont, sans exception, formées de L- aminoacides et de D-ribose, et présentent une asymétrie gauche-droite à échelle microscopique. Quand et comment est déterminée cette orientation dans le monde vivant ? La physique des particules élémentaires propose une réponse à cette question. La chimie et la biologie ont été expliquées traditionnellement en termes de forces électromagnétiques, mais du point de vue de la physique des particules élémentaires, il faut considérer les effets du courant neutre faible. Étant donné que celle-ci viole la parité spatiale, les molécules du type D et L, qui forment la matière régulière, perdent leur symétrie dû à l'interaction réalisée à travers ce courant ; ce qui provoque une différence minuscule dans sa stabilité. Nous pouvons supposer que toutes les formes vivantes avaient initialement des aminoacides du type D ainsi que du type L, ce dernier, légèrement en excès et amplifié à travers le processus d'évolution, ce qui a occasionné que tous les organismes vivants sont formés exclusivement de L-aminoacides. Dans ce travail, nous reverrons brièvement la citation actuelle des théories de la force électrique faible et de la violation de la parité. Nous essaierons d'expliquer l'origine de l'asymétrie gauche-droite dans le monde vivant à partir de ce point de vue.

Masaki Hayashi *
Kazuo Katsuura **
Honorio Vera Mendoza ***

Introducción

El mundo viviente es generalmente simétrico izquierda-derecha a escala macroscópica, pero completamente asimétrico a nivel microscópico. Las moléculas en los seres vivos son, o bien del tipo L o del tipo D (L denota “levorrotatorio”, y D “dextrorrotatorio” con respecto a la dirección rotacional del plano polarizado). La existencia de esta estructura de imagen especula (dextrorrotatoria y levorrotatoria) está basada en la actividad óptica de la molécula, que hace rotar a la luz polarizada en la dirección opuesta. La materia con estructuras diferentes (dextro- o levo-) es designada como materia ópticamente activada, y sus características físicas y químicas son extremadamente similares, excepto por su actividad óptica. En general, los compuestos sintetizados presentan estructuras racémicas que contienen igual abundancia de formas D y L, mientras que en los organismos vivos es seleccionada y utilizada sólo una de estas formas, ya sea la dextrorrotatoria o la levorrotatoria. Este proceso de selección tienen importantes consecuencias para su funcionamiento biológico. Los aminoácidos y la desoxirribosa que son las biomoléculas más fundamentales, consisten de un solo enantiómero. Este hecho es común a todas las formas de vida sobre la Tierra.

A escala molecular, las diversas formas de vida sobre nuestro planeta presentan sorprendentes similitudes entre sí, como por ejemplo en la orientación quiral, en la síntesis proteínica, los mecanismos de herencia, la interacción entre las biomoléculas, etc., las cuáles sugieren que todos los organismos vivientes evolucionaron a partir de un origen común. Las preguntas de cuándo quedó establecida la orientación quiral (L-aminoácidos y D-ribosa), de si esto ocurrió antes o después del surgimiento de las primeras formas de vida, de cómo se realizó esta determinación y de si esta fue accidental o secuencial, se encuentran estrechamente relacionadas con el origen de la vida.

La cuestión de cómo se realizó esa determinación en el mundo viviente depende del origen de la actividad óptica de las biomoléculas. Una hi-

* Departamento de Física Teórica, Escuela de Ciencias de la Vida, Universidad de Tokio de Farmacia y Ciencias de la Vida, Horinouchi, Hachioji, Tokio, 192-03. Japón

** Departamento de Física, Escuela Médica Saitama, Moroyama, Iruma, Saitama 350-04. Japón

*** Universidad Iberoamericana, Plantel Golfo-Centro, km. 3.5 Carr. Fed. Puebla-Atlixco. A.P. 1436, C. P. 72430, Puebla, Pue., México

pótesis que trata de explicar este origen está basada en la física de las partículas elementales[1], [2]. (Vea [1] y [3] para varias otras hipótesis). La teoría de la física de las partículas elementales, actualmente en voga, sostiene que las cuatro fuerzas fundamentales actualmente conocidas -gravitacional, electromagnética, fuerte(nuclear) y débil- también han evolucionado. En el universo primitivo, las interacciones electromagnética y débil estaban unificadas en una fuerza más primitiva, la llamada “fuerza electrodébil”. 10^{-11} segundos después del Big Bang, la fuerza débil se debilitó todavía mas, separándose de las fuerzas electromagnéticas. En un sentido estricto, la fuerza electrodébil aún existe, e interactúa en todas partes. Aunque la Química y la Biología pueden ser explicadas en términos de la fuerza electromagnética, en realidad es la fuerza “electrodébil” la que juega un papel clave (bajo condiciones normales, la mayoría de las contribuciones de la fuerza débil, surgidas de la fuerza electrodébil, no son significativas). Debido a que la fuerza electrodébil viola la paridad (la simetría izquierda-derecha), los enantiómeros no deberían ser exactamente iguales. Si las moléculas de tipo D y L de la materia regular no están en exacta simetría izquierda-derecha, deben de existir algunas diferencias en su estabilidad. Es posible conjeturar que hace 3 mil 500 millones de años, antes de la aparición de las primeras formas de vida sobre la Tierra, existieron cantidades casi iguales de aminoácidos de tipo D y del tipo L, aunque con un ligero predominio de estos últimos. Por lo tanto, las primeras que contenían tanto L como D-aminoácidos presentaban una ligera sobreabundancia de aminoácidos L. Presumiblemente debió existir un mecanismo que amplificó esta ligera sobreabundancia, y durante el proceso de evolución se desarrollaron formas de vida que consistían úni-

camente de L-aminoácidos. El hecho de que las proteínas constituidas por uno solo de esos enantiómeros funcionan como catalizadores mucho más eficazmente que las proteínas que contienen ambos tipos, apoya también esta hipótesis.

En la sección 2, revisaremos el estado actual de las teorías de la fuerza electrodébil y de la violación de la paridad. Luego, en la sección 3 explicaremos el origen de la asimetría quiral en el mundo viviente, desde el punto de vista de la Física de las partículas elementales.

La Fuerza electrodébil y la violación de la paridad

Existen cuatro tipos de interacciones entre partículas elementales (leptones y quarks): gravitacional, electromagnética, nuclear(fuerte), y débil. La fuerza débil, responsable de la desintegración de los núcleos atómicos, es una fuerza de corto alcance que posee pequeñas constantes de acoplamiento y está relacionada con la violación de la paridad, CP, y la extrañeza. De acuerdo con la teoría moderna de la Física de las partículas elementales, una energía inicial evolucionó en los cuatro tipos de interacciones actualmente conocidas, debido a una serie de transiciones de fase acaecidas poco después del Big Bang. La teoría sugiere que estas interacciones también han evolucionado. De acuerdo a la Teoría del Universo Inflacionario, hace aproximadamente 15 mil millones de años, el universo se encontraba extremadamente contraído. Bajo estas condiciones extremas de temperatura y densidad, toda la materia en el universo consistía de una sopa primor-

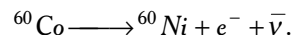
dial de partículas elementales existentes empiezan a formar los átomos y moléculas de la manera siguiente.

TIEMPO DESPUÉS DEL BING BANG	EVENTO
10^{-44} seg.	La fuerza gravitacional se separa de la fuerza inicial (Gran Fuerza Unificada + fuerza gravitacional).
10^{-36} seg.	La interacción fuerte se separa de la Gran Fuerza Unificada (Interacción fuerte + Fuerza electrodébil).
10^{-11} seg.	La fuerza débil y la fuerza electromagnética se separan de la Electrodébil.
10^{-4} seg.	Los Quarks forman a los protones y neutrones.
3 min.	Se forman los núcleos atómicos de los átomos ligeros.
300,000 años	Se forman los átomos.

Estos cuatro tipos de fuerza interactúan como fuerzas separadas, pero las fuerzas iniciales, i.e. la Gran Fuerza Unificada y la Fuerza Electrodébil, continúan activas como “fuerzas reliquia” cambiando su forma. Por ejemplo, la Gran Fuerza Unificada puede causar la desintegración de los protones, y la fuerza electrodébil podría haber sido la causa última de la simetría izquierda-derecha observada en el mundo viviente, hace 3 mil 500 millones de años.

Procederemos a revisar las teorías de la Fuerza Electrodébil y de la violación de la ley de conservación de la paridad. Si usted se mira en un espejo, observará que un objeto diestro (usted) se convierte en una imagen izquierda (inversión espacial) en el espejo. Es imposible reinvertir la imagen izquierda a una derecha, no importa que orientación le demos al espejo; el mundo especular es completamente diferente al mundo original. La ley de conservación de la inversión espacial (la equivalencia izquierda-derecha) es llamada la ley de conservación de la paridad. Esta ley había sido considerada como una ley natural que impone la simetría espacial, hasta que en 1956, T.D. Lee y C.N. Yang propusieron la hipótesis de que la fuerza débil viola la ley

de conservación de la paridad[4]. Mas tarde, C.S. Wu y su grupo[5] demostraron a partir de los resultados de los experimentos del decaimiento b del isótopo radiactivo ^{60}Co , que la paridad no se conserva:

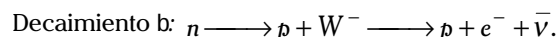


De aquí quedó establecido que electrones zurdos (espin = $-1/2$) son preferencialmente emitidos que los electrones derechos (espin = $1/2$): si la paridad se conservara, deberían emitirse cantidades iguales de electrones derechos e izquierdos. Así, este experimento demostró el surgimiento de una simetría izquierda-derecha en la dirección de la emisión de los electrones, lo que significa una violación de la ley de conservación de la paridad. Esto sucede porque en la desintegración b el neutrino n emitido con el positrón e^+ es izquierdo siempre, y que el anti-neutrino $\bar{\nu}$ emitido por el electrón e^- es siempre derecho.

En 1967, S. Weinberg y A. Salam propusieron la teoría electrodébil que unifica las interacciones electromagnética y débil. Debido a que S. L. Glashow también hizo un intento similar, esta teoría es llamada el Modelo de Weinberg-Salam-Glashow[6] (o Modelo Estándar). En la fuerza electrodébil existen dos tipos de fuerzas: la corriente cargada débil y la corriente neutra débil. La interacción de partículas elementales a través de corrientes cargadas débiles (o de corrientes neutras débiles) es llamada la interacción W (o interacción Z en el caso de corrientes neutras débiles, respectivamente). Esto es:

Fuerza Electrodébil = [Interacción W], [Fuerza Electromagnética + Interacción Z]

La interacción W, causada por el intercambio de bosones vectoriales o con carga W, cambia la carga y causa el decaimiento b. Esto es:



De acuerdo a la teoría electrodébil, la carga W no es cero en el caso del electrón izquierdo, en tanto que si lo es en el caso del electrón derecho. Por consiguiente, la emisión excesiva de electrones izquierdos en la desintegración provoca la violación de la paridad. Por otro lado, la interacción Z causa una interacción entre

las partículas elementales sin cambio en la carga. Esta interacción es débil y produce la violación de la paridad. La existencia de la interacción Z ha sido firmemente establecida experimentalmente[7].

La interacción electromagnética es una fuerza de largo alcance, que es transmitida a través del intercambio de cuanto de masa cero (fotones) entre las partículas cargadas. Por otro lado, las interacciones W y Z son transmitidas a través del intercambio de partículas masivas, llamadas bosones cargados W y bosones neutros Z^0 , entre partículas elementales, por lo que la fuerza nuclear débil es de muy corto alcance. La existencia de los bosones vectoriales W y Z^0 fue confirmada en 1983 por C. Rubbia y su grupo, utilizando el acelerador del CERN, demostrando que las masas predichas por el modelo de Weinberg-Salam-Glashow $m_W = 81[\text{GeV} / c^2]$, $m_Z = 91[\text{GeV} / c^2]$ eran las correctas[8].

Los átomos y las moléculas han sido descritos mediante las fuerzas electromagnéticas (por el intercambio de fotones virtuales), que no cambian la carga. De acuerdo a la teoría electrodébil esta reemplaza a la convencional fuerza electromagnética:

[Fuerza Electromagnética] $\longrightarrow$ [Fuerza Electromagnética + Interacción Z].

Ya que la interacción Z, que viola la conservación de la paridad, estará involucrada también, las moléculas de los tipos D y L, que están compuestas de materia regular, ya no presentan una simetría perfecta, por lo que su estabilidad se vuelve ligeramente diferente. De hecho, las variaciones de energía asociadas a la asimetría izquierda-derecha, producidas por las interacciones Z, ya ha sido demostrada por cálculos teóricos, como se explicará en la siguiente sección. Tales variaciones de la energía son extremadamente pequeñas, y no han observado cambios en las propiedades químicas o físicas en las moléculas del tipo D y L. Para los átomos, sin embargo, diversos resultados experimentales apoyan la existencia de la asimetría izquierda-derecha[9]. Es muy probable que las fuerzas débiles

sean las responsables del origen de tal asimetría en el mundo viviente. En la sección siguiente analizaremos esta posibilidad.

La asimetría izquierda-derecha en el mundo viviente

La interacción W

A continuación se listan los experimentos y consideraciones teóricas referentes a la pregunta de si la interacción W podría o no ser la responsable de la orientación quiral de las biomoléculas:

- Resultados experimentales: Con la finalidad de determinar si alguna de las formas D o L es preferencialmente descompuesta o no, se utilizaron compuestos racémicos (i.e. que contienen igual cantidad de formas D y L) que son expuestos a un haz polarizado de electrones izquierdos o derechos, mismo que fue generado por un acelerador que usaba ^{32}P , ^{90}Sr como fuente de rayos b. En la descomposición asimétrica de D-isoleucina y L-isoleucina, no se detectó ninguna descomposición selectiva entre las formas D y L. En otros experimentos se obtuvieron resultados similares. Sin embargo, las pequeñas diferencias observadas entre las formas D y L caen marginalmente dentro de los límites de error de los datos experimentales. (ver [1])
- Cálculos teóricos: R.A. Hegstrom ha mostrado que la diferencia en la velocidad de descomposición de moléculas D y L, producida por partículas b polarizadas longitudinalmente, es de aproximadamente 10^{-11} [10].

La Interacción Z

Analizaremos la posibilidad teórica de que la interacción Z haya producido efectos importantes sobre el origen quiral de los sistemas biológicos. Las propiedades físicas de átomos y moléculas son descritas recurriendo a la fuerza electromagnética. Cuando se toma en cuenta la contribución de la interacción Z con base en la teoría electrodébil, la amplitud total es expresada como la suma de la contribución $A(\gamma)$ de la fuerza electromagnética (a través de fotones) y la contribución $A(Z)$ de la interacción Z:

$$A = A(\gamma) + A(Z). \quad (\text{Ec. 1})$$

Las cantidades observadas están dadas por el cuadrado del valor absoluto de la amplitud, como

$$|A|^2 = |A(\gamma) + A(Z)|^2 \equiv |A(\gamma)|^2 + 2\text{Re}[A(\gamma)A(Z)^*] \quad (\text{Ec. 2})$$

$|A(Z)|^2$ es despreciable. $|A(\gamma)|^2$ describe diversos procesos químicos y biológicos, mientras que $2\text{Re}[A(\gamma)A(Z)^*]$ es la contribución de la violación de la paridad.

Se sigue de la Ec.(2) que la diferencia de energía ΔE_{pv} causada por la violación de la paridad por la interacción Z, entre los enantiomórfos ópticos de las moléculas quirales en estado base, esta dada por [11]:

$$\Delta E_{pv} = 2 \sum_T \text{Re} \left[\langle 0 | V_{pv} | T \rangle \langle T | V_{so} | 0 \rangle^* (E_0 - E_T)^{-1} \right] \quad (\text{Ec. 3})$$

donde $|T\rangle$ representa el triplete de los estados excitados del electrón con energía E_T , mientras $|0\rangle$ representa el singlete del estado base del electrón con energía E_0 . Estos estados están acoplados por una interacción espin-órbita V_{so} y por una interacción electrón-núcleo V_{pv} proveniente de la interacción Z

$$V_{pv} = (\Gamma/2) \sum_a \sum_i Q_W^a [\sigma_i \cdot p_i, \delta^3(r_i - r_a)]_+ \quad (\text{Ec. 4})$$

donde $[\dots]_+$ representa un anticonmutador, S_a es la suma sobre los núcleos atómicos de las moléculas, y S_i representa la suma sobre los electrones. p_i es el operador de momento del electrón i y s_i es su opera-

dor de espin. La densidad de carga de los electrones en el núcleo atómico a está determinada a través de la función delta de Dirac, $\delta^3(r_i - r_a)$. La constante Γ está dada por

$$\Gamma = G_F / (2\sqrt{2}m_e c) = 5.73 \times 10^{-17} \text{ a.u.}, \quad (\text{Ec. 5})$$

donde G_F denota a la constante de acoplamiento de Fermi, m_e es la masa del electrón, y c es la velocidad de la luz. El parámetro Q_W^a para el núcleo atómico a está dado por

$$Q_W^a = -[4\sin^2 \theta_W - 1]Z_a + N_a \quad (\text{Ec. 6})$$

de acuerdo al Modelo de Weinberg-Salam-Glashow, donde N_a representa el número de neutrones, y Z_a es el número de protones dentro del núcleo, y θ_W es el ángulo de Weinberg. Experimentalmente se determinó que $\sin^2 \theta_W = 0.232$ [12]. El acoplamiento espin-órbita V_{so} está dado por

$$V_{so} = (1/2) \sum_a \sum_i \xi_i(a) \sigma_i \cdot l_i(a), \quad (\text{Ec. 7})$$

que es expresado como la suma sobre los operadores de un electrón en el cual los electrones están localizados en el núcleo atómico a de una molécula. Aquí, $l_i(a)$ representa el momento angular orbital de un electrón alrededor del núcleo a , y $\xi_i(a)$ representa el parámetro de acoplamiento espin-órbita del electrón i en el campo esférico alrededor del núcleo a .

La diferencia de energía ΔE_{pv} debida a la violación de la paridad por la interacción Z:

$$\Delta E_{pv} = 2\Gamma \sum_j \sum_k \sum_a \sum_b Q_W^a \text{Re} \left[\langle \psi_j | [p, \delta^3(r_a)]_+ | \psi_k \rangle \langle \psi_k | \xi(r_b) | \psi_j \rangle^* (\epsilon_j - \epsilon_k)^{-1} \right] \quad (\text{Ec. 8})$$

es obtenida expandiendo las funciones de estado $|0\rangle$ y $|T\rangle$ en términos del espin-órbita de la molécula y sumando sobre los tres componentes del espin magnético, $M_s = 0, \pm 1$, en el triplete del estado excitado. Aquí, y_j es la órbita molecular ocupada y y_k es una órbita vacía, con energía de ϵ_j y ϵ_k , respectivamente; a y b denotan el centro de cada átomo. Expandiendo las órbitas moleculares y_j y y_k en términos de los orbitales atómicos que constituyen las mismas orbitales moleculares, estas pueden expresarse en términos de la suma sobre las transiciones de electrones virtuales $j \rightarrow k$ de los dos términos centrales pesados por el producto de los coeficientes LCAO, $C_{ja}C_{kb}C_{jb}C_{ka}$. Los resultados siguientes fueron obtenidos bajo este marco teórico y utilizando el método de órbita molecular *ab initio* (tomando en cuenta cuidadosamente los errores).

- S.F. Mason y G.E. Tranter[13] determinaron la diferencia de energía ΔE_{pv} de α -aminoácidos, peptidos, y de un sistema helicoidal calculando la contribución de la interacción Z a la energía de un electrón en estado base y utilizando la función del estado base STO-N-31G para el (S) isómero de peróxido de hidrógeno. La energía del estado base de la L-alanina y el L-peptido para las configuraciones α -helicoidales y β -planares es menor que sus correspondientes D-aminoácidos.
- G.E. Tranter[14] calculó la contribución de la interacción Z a la energía del electrón en el estado base para la glicina, la alanina, la valina, la serina y del ácido aspártico. La diferencia de energía obtenida indica que estos aminoácidos son ligeramente más estables en la forma L que en la forma D. La diferencia de energía debida a la violación de la paridad entre las formas L y D es del orden de 10^{-14} [J/mol], y es sensitiva a la configuración de la molécula.

- S.F. Mason y G.E. Tranter[15] calcularon la contribución proveniente de la interacción Z , a la energía del electrón en el estado base de la L-alanina y L-peptidos con configuraciones α -helicoidales y β -planares, pero esta vez en una solución acuosa. Encontraron que las diferencias de energía son menores que la diferencia correspondiente para D-aminoácidos, siendo del orden de 10^{-14} [J/mol], y esto indica que el número de L-moléculas en 1-mol de solución en condiciones normales de temperatura, es mayor en un factor de 10^6 que el número de D-moléculas.

Los anteriores cálculos indican que los L-aminoácidos son ligeramente más estables que los de formas D, y que el número de moléculas es mayor en L-aminoácidos que en D-aminoácidos por un orden de 10^{17} . Esta podría ser la razón última del por qué las formas de vida consisten únicamente de L-aminoácidos y D-azúcares. Considerando que los aminoácidos encontrados en meteoritos, son racémicos, es razonable suponer que las primeras biomoléculas sobre la Tierra sean racémicas también. Para explicar la orientación quiral en el presente mundo real, debió existir un mecanismo amplificador de la quiralidad durante el proceso de evolución química. Independientemente de que si la quiralidad fue consecuencia (física) como fue explicado anteriormente o accidental debe de haber un mecanismo de amplificación para la quiralidad. A continuación listaremos algunos mecanismos amplificadores de la quiralidad, propuestos hasta ahora.

El modelo de F.C. Frank[16]: las siguientes suposiciones son postuladas para aquellos sistemas compuestos de iguales cantidades de D-aminoácidos y L-aminoácidos.

1. Tales sistemas tienen la habilidad de autoreplicarse (formas D replican formas D, y formas L replican formas L), pero tal proceso puede ser obstaculizado por la existencia del enantiómero opuesto.
2. Las formas D y L forman un par, y como resultado se obtiene una sustancia completamente diferente.
3. Hay intercambio de energía y moléculas por lo que el sistema no se encuentra en equilibrio termodinámico.

En estos sistemas, el número de moléculas D y L cambia con el tiempo y se da un rompimiento espontáneo de la simetría debido a las fluctuaciones estadísticas. Una vez que el número de un cierto tipo de moléculas domina sobre el otro, tal sobreabundancia se acelera y amplifica favoreciendo a las moléculas inicialmente dominantes. En este modelo, la pérdida de D-aminoácidos es considerada como puramente accidental. Debido a la hipótesis de autoréplica, este modelo supone que la competencia entre dos formas de vida resultó accidentalmente en la aniquilación de uno de los enantiomórfos.

Y. Yamagata[17] y V.S. Letokhov[18] mostraron la posibilidad de que la violación de paridad pueda formar un enantiómero con una energía ligeramente más estable se convierta quiralmente dominante a través de un proceso de amplificación. A continuación analizamos tal posibilidad, basándonos en el modelo propuesto por K. Tennakone[19].

Suponga que la interacción Z cambia la energía E de activación de la molécula por $\Delta E \equiv \varepsilon E$ debido a la no conservación de la paridad

$$\varepsilon = \alpha^2 G_F (m_e / m_p)^2 \sim 10^{-16}, \quad (\text{Ec. 9})$$

donde $G_F = 1.02 / (10^5 m_p^2) = (294 [\text{GeV}])^{-2}$, $\alpha =$ constante de estructura fina $e^2 / (4\pi) = 1/137$, $\hbar = c = 1$. Así, las constantes para la tasa de producción de las formas L y D son expresadas como

$$c_L = c_O \exp[-(E - \Delta E) / kT], \quad (\text{Ec. 10})$$

$$c_D = c_O \exp[-(E + \Delta E) / kT], \quad (\text{Ec. 11})$$

donde c_O es una constante, y $c_L > c_D$, debido a la no conservación de la paridad y T es la temperatura.

La evolución de la intersección de las formas L y D, que se replican a si mismas en el medio prebiótico puede ser descrita por las siguientes ecuaciones del tipo de Volterra:

$$dN_L / dt = c_L N_L - a_L N_L^2 - b_L N_L N_D, \quad (\text{Ec. 12})$$

$$dN_D / dt = c_D N_D - a_D N_D^2 - b_D N_D N_L, \quad (\text{Ec. 13})$$

donde N_L y N_D son las concentraciones de formas L y D al tiempo t , y a_L , b_L , a_D y b_D son constantes. El segundo y tercer término del lado derecho de las ecuaciones, representa la autointeracción que controla el crecimiento exponencial y la interacción entre las formas L y D. La ecuación del tipo de Volterra muestra que pueden existir un número finito de soluciones cuando $t \rightarrow \infty$ si $c_L > c_D$. Por simplicidad, supongamos que $a_L = a_D = b_L = b_D$, por lo que

$$N_D / N_L = A \exp[-(\Delta c)t], \quad (\text{Ec. 14})$$

$$\Delta c = c_L - c_D \cong (2c_O \Delta E / kT) \exp[-(E / kT)], \quad (\text{Ec. 15})$$

donde A es una constante. Si asumimos, por ejemplo, $E @ kT (T=300K)$ entonces se obtiene que $\Delta c \cong 10^{-16} c_O$. Suponiendo $c_O^{-1} (\cong c_L^{-1} \text{ ó } c_D^{-1}) \sim 1[\text{seg}]$, que corresponde al orden del tiempo de autorreplicación de las moléculas a $T=300K$, la concentración de formas D se vuelve despreciable después de 10^8 a 10^9 años.

D.K. Kondepudi y G.W. Nelson[20] analizaron un modelo similar al método de eliminación de ruido que rescata señales inmersas en ruido. Los enantiómeros que compiten entre sí, y que presentan un pequeño exceso de formas L debido al rompimiento de la simetría por la fuerza débil (=señal), tienen más formas L a un tiempo t y más formas D a otro tiempo posterior debido a las fluctuaciones irregulares (=ruido). En tales sistemas, el efecto de las fluctuaciones sólo disminuirá hasta después de largos períodos de tiempo, donde el rompimiento espontáneo de la simetría causado por la fuerza débil juega un papel importante. De acuerdo a sus cálculos, la probabilidad de que todos

los aminoácidos sean del tipo L después de 100,000 años es 0.98.

De esta manera, al tomar en cuenta la contribución de la interacción Z, se puede desarrollar un escenario en el cual los aminoácidos L serán ligeramente más estables que los D al tiempo del origen de la vida, y en el cual la orientación quiral en el mundo viviente ha sido producida por un mecanismo amplificador de esa asimetría. De acuerdo a un escenario así, la simetría biológica en el mundo microscópico puede considerarse como estructural y no accidental.

En adición al escenario descrito en este artículo, varias otras hipótesis basadas en la evolución química o biológica, han tratado de explicar el origen de la asimetría biológica[1],[3]. La solución a este misterio nos daría una comprensión más profunda sobre las preguntas fundamentales acerca de la vida y sus orígenes, y esperamos ansiosamente los avances en este campo 

Bibliografía

1. R. KURODA
1992 "Asymmetry in the Living World-Why does Nature like Unbalance?-", ChukouShinsho (in Japanese), .
2. G. WÄCHTERSÄUSER
1992 Prog. Biophys. Molec. Biol., 58, 85.
3. T. Oshima, Special Issue of SuuriKagaku
1994 "Life Information Mathematics" (in Japanese), Saiensusa.
4. T.D. LEE AND C.N. YANG
1956 Phys. Rev. , 104, 254.
5. C.S. WU, E. AMBLER, R.W. HAYWARD, D.D. HOPPE AND R.P. HUDSON
1957 Phys. Rev., 105, 1413.
6. S. WEINBERG,
1967 Phys. Rev. Letters, 19, 1264; A. Salam, in Proc. 8th Nobel Symposium; Elementary Particle Physics, ed. N. Svarthold (Almqvist and Wicksell, Stockholm, 1968); S.L. Glashow, Nucl. Phys., 22(1961), 579.
7. F.J. HASERT ET AL.
1973 Phys. Letters, 46B, 121; S.J. Barish et al.
1974 Phys. Rev. Letters, 33, 448.
8. G. ARNISON ET AL. (UA1 COLL.)
1983 Phys. Letters, 122B,103; G. Banner et al. (UA2 Coll.),
Phys. Letters, 122B476; G. Arnison et al. (UA1 Coll.),
1983 Phys. Letters, 126B, 398; G. Bagnaia et al. (UA2 Coll.),
1983 Phys. Letters, 129B, 130.
9. E.N. FORTSON AND L.L. LEWIS
1984 Phys. Report, 113, 289.
10. R.A. HEGSTROM
1982 Nature, Lond. 297, 643;
1984 Origins of Life, 14(), 405.
11. R.A. HEGSTROM, D.W. REIN AND P.G.H.SANDARS, J.
1980 Chem. Phys., 73, 2329;
S.F. MASON AND G.E. TRANTER
1985 Proc. R Soc. Lond., A397, 45;
C.C. BOUCHIAT AND M.A. BOUCHIAT, J.
1974 Phys., París, 35, 899;
1975 Phys., París, 36, 493.
12. Review of Particle Properties,
1995 Phys. Rev. D50, 1233.
13. S.F. MASON AND G.E.
1984 Tranter, molec. Phys. , 53, 1091.
14. G.E. TRANTER,
1985 Molec. Phys., 56, 825;
1985 Chem. Phys. Letters., 120, 93.
15. S.F. MANSON AND G.E. TRANTER
1985 Proc. R. Soc. Lond., A397, 45.
16. F.C. FRANK
1953 Biochim. Biophys. Acta., 11, 459.
17. Y. YAMAGATA, J.
1966 Theor. Biol., 11, 495.
18. V.S. LETOKHOV,
1975 Phys. Letters, 53A, 275.
19. K. TENNAKONE,
1979 Prog. Theor. Phys., 62, 581.
20. D.K. KONDEPUDI AND G.W. NELSON
1984 Phys. Letters, 106, 203;
1984 Physica, A125, 465.