

# EN BUSCA DUNHA ÚNICA CAUSA PARA DÚAS ASIMETRÍAS: MATERIA OU ANTIMATERIA, AMINOÁCIDOS LEVÓXIROS OU DEXTRÓXIROS.

*Constantino Armesto Ramón*

*Instituto Illa de Tambo, Marín (Pontevedra)*

A calquera estudioso das ciencias sorprenderanlle dúas asimetrías: se se fixa no universo achará que as súas estruturas están fabricadas con materia, desprezando a antimateria, e se pouosa os seus ollos na vida atopa que os seres vivos están construídos con aminoácidos levóxiros ignorando aos dextróxiros. Por que estas dúas asimetrías? Estarán relacionadas? ou, o que é máis importante, terán a mesma causa?

## **EXISTE MÁIS MATERIA QUE ANTIMATERIA NO UNIVERSO?**

Aparentemente, todas as partículas que constitúen a materia atópanse por pares: cada partícula ten a súa antipartícula con masa idéntica, e espín e algún tipo de carga oposta. Desde que Paul Dirac predixo a existencia de antimateria no ano 1928, e Carl Anderson descubriu o positrón (antielectrón) no ano 1932, a cada partícula material achóuselle o seu correspondente antipartícula.

Nos grandes aceleradores, os choques de partículas producen pares de partículas e antipartículas simultáneas e na mesma cantidade; con todo, non se atopa case nunca antimateria fóra do laboratorio; comprobamos ata a saciedade que os átomos da Terra e do sistema solar están formados por materia e non por antimateria, sucede o mesmo noutros lugares?, todos os planetas, estrelas e galaxias do universo está formadas, como no sistema solar, só por materia?

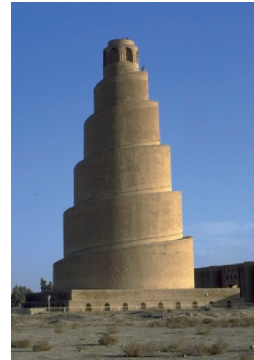
Sabemos que a materia e a antimateria non poden coexistir no mesmo lugar do espazo porque desintegraríanse convertendo a súa masa en enerxía. Agora ben, poderían existir en lugares separados por espazo baleiro? A detección dos raios cósmicos pódenos informar respecto diso. Desde o seu descubrimento (Victor Hess, no ano 1912), a fonte dos raios cósmicos non se coñece con certeza, pero parece ser que proceden de toda a galaxia, e os máis enerxéticos de fóra dela<sup>1</sup>. As medidas efectuadas por diversos equipos<sup>2</sup> indicannos que están constituídos por partículas materiais: é razoable supor que, tanto a Vía Láctea como o Grupo Local de galaxias, están formadas por materia. O resto das galaxias ten a mesma composición? Como delas recibimos fotóns e os fotóns procedentes da materia



son indistinguibles dos procedentes da antimateria, a luz non nos informa sobre a constitución das galaxias. A pregunta de se existen agrupacións de antimateria<sup>3</sup> no universo só se responderá cando se consigan construír telescopios de neutrinos (un proxecto moi afastado da tecnoloxía actual), pois supomos que segundo se trate de estrelas de materia ou por antimateria emitirán neutrinos ou antineutrinos. Cos datos actuais non podemos afirmar de xeito concluínte, pero podemos considerar probable que o universo estea formado na súa totalidade por materia. Non invalida a argumentación xeral as nubes de positróns achadas na rexión central da Vía Láctea que, probablemente, prodúcense en estrelas binarias LMXB<sup>4</sup>.

### CONDICIÓNS PARA UNHA TEORÍA <sup>5,6</sup>

Nos procesos elementais que observamos na física de partículas atopamos unha simetría materia-antimateria, entón por que na actualidade achamos materia e non antimateria?, o desequilibrio débese a un accidente ou é o resultado dalgunha asimetría nas leis fundamentais da natureza? A contestación a esta pregunta suxire dúas posibilidades: ou ben o predominio da materia sobre a antimateria apareceu no Big-bang, ou ben nalgún momento posterior. Aínda que a primeira hipótese non pode descartarse, non parece satisfactoria; en principio, calquera composición do universo podería explicarse da mesma xeito, ademais, a hipótese do desequilibrio concede un papel fundamental a un conxunto de condicións iniciais que parecen inverosímiles, por que esas condicións e non outras calquera? Resulta máis lóxico construír unha teoría que implique un universo inicial simétrico, desde un punto de vista estatístico parece razoable supor que a condición máis probable de equilibrio será aquela en que houberse tanta materia como antimateria: ao comezo do universo, habería a mesma cantidade de partículas que de antipartículas, igualdade que se desfaría, a medida que o universo se expandise.



Andrei Sakharov sinalou tres condicións para que se produza a asimetría:

- i. Deben existir procesos que non conserven o número bariónico.
- ii. O universo non consegue o equilibrio térmico nalgún momento da súa expansión inicial.
- iii. A simetría CP debe de violarse.

### CONSERVACIÓN DO NÚMERO BARIÓNICO <sup>7,8</sup>

Todas as estruturas materiais do universo, seres vivos, planetas ou estrelas, están constituídas por cristais, moléculas, átomos, núcleos, protóns e neutróns e en último termo por partículas elementais de dúas clases, leptóns e quarks. A física dispón dun modelo que encerra todo o que se sabe sobre as propiedades das partículas elementais: o modelo estándar: as partículas observadas quedan explicadas a partir duns constituíntes fundamentais: seis quarks, seis leptóns, e as súas correspondentes antipartículas; e as súas interaccións descritas con tres tipos de interaccións: a electromagnética, a débil e a forte, que se transmiten por unhas partículas especializadas: un fotón, oito gluóns e tres bosóns ( $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z$ ). Non consideramos aquí a cuarta interacción –a gravitatoria– por non estar integrada no Modelo Estándar de Partículas.

Nas interaccións entre partículas consérvase o número bariónico (sendo este un número que se asigna a cada partícula constituída por tres quarks). Son barións, entre outros, o protón e o neutrón; como o protón é o barión de menor masa, todos os barións poderían desintegrarse ata chegar a el; pero o protón sería eterno se o número bariónico se conservase sempre. É o? Steven

Weinberg (ver foto) séntese insatisfeito por recorrer á conservación do número bariónico, un número que xurdiu unicamente para xustificar por que o protón non se desintegra; e difire da carga eléctrica que si ten un significado: unha carga crea un campo electromagnético, a teoría electromagnética non tería sentido se a carga eléctrica non se conservase; non se coñece un argumento análogo para explicar a conservación do número bariónico.



O punto de vista sobre as leis de conservación cambiou co desenvolvemento das modernas teorías unificadas das interaccións entre partículas elementais; que explican todas as forzas coñecidas (excluída a gravitación) dunha forma moi similar á electrodinámica cuántica, a vella teoría das interaccións electromagnéticas. Sostense hoxe que existen doce campos similares ao campo electromagnético: os oito campos gluónicos, que proporcionan a forza que mantén unidos aos quarks, e os catro campos electrodébiles que proporcionan as forzas responsables da desintegración beta e do electromagnetismo. Existen doce leis de conservación asociadas a distintas cantidades, similares á conservación da carga eléctrica. Ao contrario que a conservación do número bariónico, estas cantidades teñen un significado físico: as partículas que portan estas cantidades orixinan os campos gluónicos e electrodébiles.

Unha lista das leis de conservación fundamentais incluíría a conservación das doce cantidades asociadas ás forzas electrodébiles e fortes; a conservación da enerxía-masa, do momento lineal e do momento angular, asociadas ao campo gravitatorio; e a conservación do número bariónico, que se saiba, non asociada a ningunha forza; este mesmo feito fainos desconfiar dela. Existe algunhas indicacións acerca da súa violación: 1º Gerard 't Hooft demostrou, coa teoría das interaccións electrodébiles, que existen procesos moi lentos (non detectados aínda no laboratorio) nos que non se cumpre a conservación do número bariónico. 2º Se o universo empezou cun número bariónico cero -cunha completa simetría entre materia e antimateria- e cumpríse a lei de conservación, o número continuaría sendo cero. Non sucedeu así, a actual preponderancia de materia sobre antimateria significa que o número bariónico actual é maior que cero, o que significa que nalgunha etapa sucederon procesos físicos nos que non se conservou o número bariónico; sendo así, o protón debe desintegrarse.

Xa se deseñaron varias teorías (GUT) que unifican a cromodinámica cuántica e a teoría electrodébil de Weinberg-Salam, e moitas delas -especulativas aínda- predín a non conservación do número bariónico; por agora, non se dispón de datos experimentais que permitan elixir a correcta.

Na actualidade, a desintegración do protón non está comprobada experimentalmente; mediuse que a súa vida media supera os  $10^{31}$  a  $10^{33}$  segundos.

### ROTURA DE SIMETRÍA <sup>9, 10, 11</sup>

Unha teoría física presenta simetrías se as leis seguen vixentes despois de que algunha operación matemática teña transformando o sistema. Ata a década dos anos cincuenta aceptábase que as leis físicas permanecerían invariantes se os experimentos se repiten nun mundo reflectido nun espello (inversión da paridade ou simetría P), dito doutro xeito, un experimento físico non podía distinguir entre esquerda e dereita. Os leptóns e hadróns son dextróxiros ou levóxiros segundo o sentido do seu espín; segundo iso, se se cumpre a simetría P, as partículas dextróxiros



comportaranse exactamente igual que as levóxiras. As leis que describían as interaccións electromagnéticas, débiles e fortes supúñase eran iguais no mundo invertido pola paridade. No ano 1956, T. D. Lee e C. N. Yang predixeron teoricamente que as interaccións débiles non o eran e Chien-Shiung Wu demostrouno no ano 1957 cun experimento no que estudaba a desintegracións beta dos núcleos do isótopo 60 do cobalto. Os resultados son concluíntes: non existen neutrinos dextróxiros nin antineutrinos levóxiros, todos os neutrinos son levóxiros e todos os antineutrinos son dextróxiros; e posto que os neutrinos só interaccionan co resto do universo mediante interaccións débiles, estas interaccións mostran asimetría: violan a simetría P.

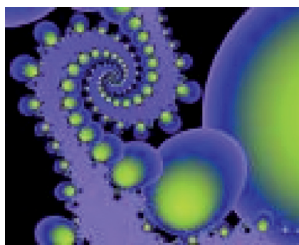
A natureza presenta outra simetría básica, a conxugación de carga (ou simetría C): os fenómenos permanecen invariables se se substitúe cada partícula pola súa correspondente antipartícula. Móstrana as interaccións fortes e electromagnéticas; pero non as interaccións débiles, porque un neutrino levóxiro non pode converterse nun antineutrino levóxiro -non existe-. Ante esta situación os físicos propuxeron unha simetría máis xeneralizada que parecían cumprir todas as interaccións: as leis físicas permanecerían invariantes ante a reflexión dun espello se a continuación se substituía a materia pola antimateria (chamárona simetría CP). Un neutrino levóxiro sometido á simetría CP convértese en antineutrino dextróxiro; os neutrinos que rompen as simetrías C e P por separado, respectan a combinación.



A simetría absoluta CP mantívose pouco tempo. En 1964, James Cronin e Val Fitch demostraron experimentalmente que se producen pequenas violacións da simetría CP (recibiron o premio Nobel no ano 1980 polo seu traballo). Observaron que dous de cada mil kaóns de vida longa mostraban unha desintegración prohibida pola simetría CP. O experimento mostra unha diferenza entre a materia e a antimateria (confirmada no ano 2008 cos mesóns  $B^{12}$ ).

## UN UNIVERSO INFLACIONARIO <sup>13</sup>

A segunda das tres condicións de Andrei Sakharov establece que, nalgún momento da súa expansión, o universo non puido conseguir o equilibrio térmico porque o seu ritmo de expansión era



moi rápido. En certo período da súa historia primixenia, o universo debería sufrir unha transición de fase, un cambio extraordinariamente rápido no seu estado; se iso ocorrese, calquera asimetría materia-antimateria xerada durante a transición tería que manterse, porque concluída a transición, a conservación do número bariónico estableceríase.

No ano 1979, Alan Guth propuxo unha nova teoría cosmolóxica para explicar a ausencia de monopolos magnéticos que, ademais, resolvía de golpe outros dous problemas: o universo a gran escala é isotrópico e homoxéneo; e é plano. O modelo inflacionario supón que nos primeiros instantes do universo, cando apenas ten unha idade de  $10^{-35}$  segundos, produciuse unha era inflacionaria, que durou  $10^{-32}$  segundos, durante a cal o diámetro do universo multiplicouse por  $10^{50}$  ou máis. O modelo mantén os mesmos postulados que o Big-bang excepto durante a inflación.

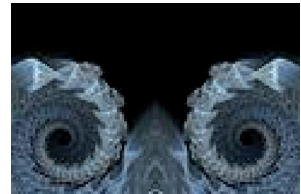
## UNHA TEORÍA POSIBLE <sup>14</sup>

Das tres condicións de Andrei Sakharov:

- i. Que existan procesos que non conserven o número bariónico: é posible, pero está pendente de demostración experimental.
- ii. Que o universo non consiga o equilibrio térmico durante algún momento da súa expansión: existen modelos (inflación) compatibles cos datos experimentais.
- iii. A simetría CP debe de violarse: confirmada experimentalmente.

Aceptando que estas tres condicións se cumpren, pódese construír unha cadea de sucesos que, arrincando dun universo simétrico entre materia e antimateria, chega ao universo actual onde predomina unha sobre outra.

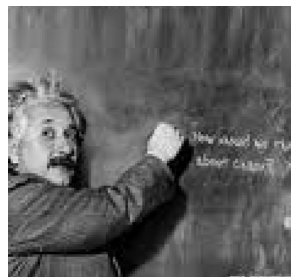
1. A temperatura do universo estivo baixando desde o Big-Bang. Se nos movemos cara atrás no tempo canta maior sexa a temperatura maior será a enerxía cinética media da partículas elementais; e canto maior sexa a enerxía cinética, haberá maior enerxía dispoñible para crear pares de partículas nos choques. A unha temperatura de  $10^{28}$  Kelvin, cando a idade do universo era  $10^{-35}$  segundos, a enerxía dunha partícula era mil billóns de veces a masa do protón: pode postularse que existían partículas con esa masa (X).
2. Existían tantas partículas X como anti X. Se na desintegración das X non se conserva o número bariónico, pode haber exceso de materia, exactamente compensada cun exceso de antimateria proveniente da desintegración das anti X. Pero se tampouco se cumpre a simetría CP, as partículas X e as anti X non se descomporán da mesma forma: poderíase producir un desequilibrio a favor da materia, aínda que nun principio existise unha igualdade exacta entre ambas.
3. O universo expandíase e ao facelo arrefriábase: transcorrido un tempo crítico desapareceron as partículas X, porque as que existían desintegráronse e xa non se formaron máis. Os procesos que violan o número bariónico case desapareceron e a preponderancia de materia sobre antimateria quedou establecida.
4. Cunha temperatura de 100 billóns Kelvin, existía unha mestura de partículas en equilibrio que se creaban e destruían continuamente; en consecuencia o número de fotóns, leptóns e quarks debería ser igual. E así era, aproximadamente. Nesa sopa de partículas existían mil millóns un de barións e mil millóns de antibarións por cada barión actual. Ao baixar a temperatura os mil millóns de barións uniríanse cos mil millóns de antibarións dando fotóns e deixando un residuo dun barión por cada mil millóns de fotóns, razón que se conservaría ata a actualidade (o dato obtense das medidas da densidade de materia do universo e da temperatura da radiación cósmica de fondo de microondas). Ao alcanzar a idade dun milisegundo, no universo quedou o residuo de materia que se observa hoxe.



## A ANTIMATERIA NA UNIFICACIÓN FINAL <sup>15, 16, 17</sup>

Desde que Newton uniu a mecánica terrestre coa celeste e Maxwell fixo o mesmo coa electricidade, o magnetismo e a óptica, percorreuse un longo camiño na unificación das leis da física. No segundo cuarto do século XX Albert Einstein comezou a inxente tarefa de unificar a teoría da relatividade coa mecánica cuántica, ou o que é o mesmo a gravidade co electromagnetismo: fracasou no intento. O descubrimento das interaccións débiles e fortes desviou a atención

dos físicos; unha vez descritas e explicadas, e seguindo as ideas de Einstein, intentouse a súa posible unificación. Constitúe o primeiro paso deste proxecto a teoría de Weinberg-Salam, que unificou ás interaccións débiles co electromagnetismo; foi confirmada pola predición e posterior descubrimento das correntes neutras (partículas Z). Un segundo paso do proxecto unificador é o deseño dunha teoría que unifique as interaccións fortes coas electrodébiles; por agora, os teóricos deseñaron moitos modelos, pero se necesitan novos datos experimentais para seleccionar a teoría certa; mencionamos algúns: probar que a partícula de Higgs existe, determinar a vida do protón, buscar monopolos, medir a masa do neutrino, buscar as partículas responsables da materia escura do universo.



Aínda que dispoñamos dunha teoría unificadora das tres interaccións que actúan entre as partículas elementais, aínda queda pendente a última, e máis difícil, unificación: as dúas grandes teorías físicas do século XX, a teoría da relatividade e a mecánica cuántica teñen descriucións matemáticas totalmente independentes (a cromodinámica cuántica, a electrodinámica cuántica e a teoría de Weinberg-Salam son teorías cuánticas). E parece que a mecánica cuántica é incompatible co principio de equivalencia no que se basea a teoría da relatividade (as masas inercial e gravitatoria son idénticas, ou o que é o mesmo, a gravidade maniféstase na curvatura do espazo-tempo con independencia da composición dos obxectos sobre os que actúa). Na teoría da relatividade a posición e velocidade dun obxecto determina a traxectoria exacta que seguirá ao caer nun campo gravitatorio; en cambio a mecánica cuántica dinos que a traxectoria é indeterminada e que o movemento se rexe pola probabilidade. Non sería imposible, entón, que unha teoría cuántica da gravidade prognosticase interaccións que violasen o principio de equivalencia.

Demostrouse que se a relatividade se reformula como unha teoría cuántica de campos, o análogo ao fotón, o cuanto da radiación electromagnética, sería un gravitón, o canto das ondas gravitatorias; con todo, a versión cuántica da relatividade xeral está infestada de incoherencias matemáticas. Novos enfoques teóricos, como o aumento das dimensións (formúlanse teorías da gravidade en once dimensións) ou a introdución dunha nova simetría (a supersimetría), permiten a construción de novos modelos na maioría das cales atópase que a materia e a antimateria teñen distinto comportamento nun campo gravitatorio. Sorprendentemente, tanto unhas como outras producen consecuencias parecidas e, o que é máis importante, observables. Distintos grupos fixeron medicións, para comprobar os efectos gravitatorios dependentes da composición, sen resultados concluíntes. Mentres esperan os datos experimentais, os físicos teóricos non pararon de deseñar novos modelos; a teoría M, inclúe a supersimetría, once dimensións e cordas no canto de partículas puntuais.

## A ASIMETRÍA BIOLÓXICA <sup>18, 19, 20</sup>

A maioría dos obxectos que atopamos na natureza non exhiben simetría respecto dun plano, non posúen lateralidade, disimetría ou quiralidade; as mans ou os parafusos si a presentan, dito



con palabras sinxelas, o obxecto é igual á súa imaxe reflectida nun espello. Non só os obxectos, os procesos como algunhas reaccións químicas ou determinadas interaccións atómicas ou nucleares tamén presentan quiralidade. A pesar de que un obxecto e a súa imaxe especular son obviamente diferentes (para distinguilos cualificámoslos de dextróxiro e levóxiro), non existe unha razón para que un sexa superior ao outro; pero o mundo real, manifesta preferencia por unha

das quiralidades. Os humanos temos o corazón á esquerda e o fígado á dereita, e usamos sobre todo a man destra. Nas caracolas predominan as cunchas helicoidais dextróxiras; as plantas rubi-deiras prefiren unha quiralidade: a madreSelva desenvólvese en hélice levóxira; ata as bacterias espirais mostran preferencias quirais. As moléculas, como descubriu Pasteur, tamén poden ser quirais: as proteínas están compostas exclusivamente por aminoácidos levóxiros, o ADN e o ARN forman hélices dextróxiras e están formados por un azucre dextróxiro. A preferencia da vida por un dos compostos sobre o outro –que pon de manifesto a orixe común de toda a vida terrestre– é sorprendente por dúas razóns: as propiedades químicas dos aminoácidos (ou dos azucres) dextróxiros e levóxiros son iguais e, ademais, cando se sintetizan no laboratorio, a partir de compostos aquirais, prodúcense cantidades iguais de ambos.

En 1857, Louis Pasteur descubriu que crecían mofos nunha disolución opticamente inactiva; examinou a disolución e achou que se volveu opticamente activa: os microorganismos alterárona. Pasteur razoou que a disolución orixinal era opticamente inactiva porque contiña igual número de moléculas dextróxiras que levóxiras; e que os fungos reaccionaran só cun dos tipos, deixando na disolución o outro. Así foi como deduciu que a química da vida tiña quiralidade; e que esta era unha das diferenzas fundamentais entre a materia viva e a inerte. Escribiu *“A vida, tal como se nos manifesta é unha función da asimetría do universo e das consecuencias de tal feito”*.

Existen moitas teorías para explicar a orixe da vida, pero, con independencia de como ocorran os pasos que conduciron á primeira bacteria, calquera das teorías debe explicar a orixe da homoquiralidade biolóxica. 1º Hipótese: a homoquiralidade das biomoléculas xurdiu antes que as primeiras células por causas físicas ou químicas. 2º Hipótese: as primeiras células non posuían química quiral: a quiralidade é un resultado da selección natural entre as primeiras células. 3º Hipótese: a ruptura da simetría produciuse ao azar.

## ASIMETRÍA BIOLÓXICA DEBIDA Á FORZA DÉBIL <sup>21, 22</sup>

Calquera partícula elemental de materia pode ser dextro ou levo, sucede o mesmo co estado de polarización de calquera fotón. Neste sinxelo esquema hai unha excepción: só existe o neutrino levóxiro. A asimetría responsable da falta de simetría dos neutrinos tamén é responsable da asimetría cósmica entre a materia e a antimateria, por simplicidade gustaríanos que a mesma asimetría tamén fose a causa da asimetría química das biomoléculas terrestres. Se a interacción débil fose responsable da homoquiralidade observada nas biomoléculas, entón a vida en calquera parte do universo tería a mesma quiralidade que na Terra. Coas outras hipóteses, sería posible a vida noutros planetas coa mesma quiralidade terrestre ou coa oposta, é dicir, o signo da quiralidade é accidental.

Por que aparece quiralidade nas reaccións biolóxicas? As reaccións químicas son o resultado das interaccións electromagnéticas entre átomos, e as interaccións electromagnéticas son simétricas respecto das reflexións nun espello. Das catro forzas que existen na natureza só a forza débil presenta quiralidade. A síntese electrodébil leva aparelado que entre os electróns e o núcleo dun átomo exista unha forza electrodébil, forza que, confirmada experimentalmente, non conserva a paridade: distingue dereita de esquerda. Iso significa que os átomos e moléculas tidos por aquirais son quirais.



Está ligada a quiralidade biolóxica á forza débil? É posible que a forza débil sexa responsable da dominancia dos aminoácidos levóxiros sobre os dextróxiros? Elaboráronse varios mecanismos<sup>23</sup> para explicar a homoquiralidade sen que ningún sexa concluínte, porque a diferenza entre unha molécula e a súa imaxe especular é minúscula:

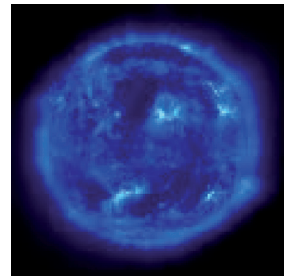
1. Frederick Vester e Tilo Ulbricht sinalaron que os fotóns formados na desintegración beta -levóxiros- descompón con preferencia un dos enantiómeros. A asimetría é tan pequena que ningún experimento a observou.
2. Roger Hegstrom calculou, e Arthur Rich e James Vanhouse observaron, que os electróns formados na desintegración beta -levóxiros- inducen a descomposición preferente dun dos enantiómeros. A diferenza é dun en mil millóns.
3. Stephen Mason e George Tranter calcularon as enerxías de diversos aminoácidos dextróxiros e levóxiros tomando en consideración a asimetría da forza electrodébil; en todos os casos o levóxiro resultou ter menos enerxía, e xa que logo deberá ser máis abundante. A diferenza é dun en cen mil billóns.

En calquera dos tres casos, para que o proceso resulte viable necesita unha amplificación. Frederick Charles Frank<sup>24</sup> desenvolveu un modelo sinxelo destinado a ilustrar de que forma podería operar espontaneamente a ruptura de simetría nun sistema químico constituído por dúas moléculas que son imaxes especulares. Dilip Kondepudi e George Nelson<sup>25</sup> demostraron teoricamente a existencia de mecanismos de amplificación en sistemas abertos que non se atopan en equilibrio, e Frank Moss e Peter McClintock<sup>26</sup> efectuaron unha simulación electrónica do proceso. Con todo, aínda non se observou ningún mecanismo de amplificación nun sistema químico real.

### ASIMETRÍA BIOLÓXICA DE ORIXE EXTRATERRESTRE <sup>27, 28</sup>

Propuxéronse outras teorías para a produción dun exceso enantiomérico. Os aminoácidos levóxiros terrestres, tanto se proceden do espazo exterior coma se formáronse na Terra, poderían ser o resultado dunha fotólise selectiva inducida por luz polarizada circularmente (CPL).

Dous feitos experimentais sustentan a nova hipótese: 1º No meteorito de Murchison atopáronse aminoácidos e tamén atopouse un pequeno exceso de levóxiros sobre dextróxiros, sendo a primeira evidencia natural da existencia dun posible mecanismo de amplificación enantiomérica<sup>29</sup>. 2º A partir de mesturas racémicas e mediante fotólise con luz ultravioleta polarizada circularmente (UVCPL), no laboratorio obtense máis cantidade dun enantiómero que do outro.



Sobre esta base Rubenstein<sup>30</sup> propón unha causa extraterrestre para a existencia da homoquiralidade biolóxica: postula que o sistema solar debeu de estar bañado por luz ultravioleta polarizada no momento da súa formación. Bailey<sup>31</sup> descubriu grandes áreas con CPL (ata o 17 % da luz) nunha rexión de formación de estrelas na constelación de Orión (estas rexións, poirentas, probablemente conteñen moléculas orgánicas); supuxo que a homoquiralidade biolóxica podería ser explicada se a UVCPL bañase a nube de po que orixinou o sistema solar e destrúise preferentemente aos aminoácidos dextróxiros. Na Terra os aminoácidos zurdos foron máis numerosos porque parte deles traíanos os meteoritos. Unha obxección á hipótese consiste en que soamente se observou polarización circular na luz infravermella (porque só esta pode atravesar as rexións poirentas), mentres que para romper as moléculas é necesaria a luz ultravioleta; pero Bailey demostrou que a luz difundida por partículas alargadas, en presenza dun campo magnético, xera luz con polarización circular tanto infravermella como ultravioleta.

O exceso enantiomérico producido por CPL é dunhas unidades por cento. Polo tanto, como no caso da violación da paridade, necesítase un mecanismo de amplificación, que xa comentamos no apartado anterior.

## RECAPITULACIÓN

Supoñamos certa a teoría da orixe extraterrestre da homoquiralidade: a nebulosa de po primordial que deu orixe ao sistema solar estaba bañada por luz ultravioleta con polarización circular dextro. A pregunta fundamental segue aínda sen responderse porque, como existen dous estados de luz polarizada, por que a polarización da luz foi unha e non a outra? É produto do azar ou obedece a algunha lei física fundamental?

Se fose a orientación do campo magnético galáctico o que determinase o exceso de luz con polarización circular dextro da nosa galaxia, e o campo magnético mantivo a súa orientación durante os últimos miles de millóns de anos, todas as rexións da nosa galaxia con luz con polarización circular deberían ter a mesma quiralidade e, en consecuencia, toda a vida que puidese formarse na Vía Láctea presentaría a mesma homoquiralidade. A pregunta sería agora o sentido do campo magnético galáctico puido ser outro?, ou o que é o mesmo o sentido do campo magnético débese a algunha lei física fundamental ou é un produto do azar? Sabemos que o mecanismo da dínamo amplifica o campo magnético primordial da galaxia, pero seguimos descoñecendo a orixe última do campo magnético inicial <sup>32</sup>.



## CONCLUSIÓN

A conxectura de Pasteur “L’univers est dissymétrique” resultou verdadeira ata un punto que ninguén imaxinaba. A ciencia moderna revelou que a simetría especular adoita faltar na natureza en todos os niveis desde os subatómicos ata os macroscópicos. A asimetría é unha característica esencial da evolución cosmolóxica, química e biolóxica e suxire que existe unha relación entre a asimetría a nivel atómico e a nivel macroscópico. Ignórase aínda as orixes desta asimetría, aínda que se conseguiu certa comprensión das causas polas que a lateralidade dun nivel pode suscitar a lateralidade do outro.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1 Cronin, J., Gaisser, T. y Swordy, S. (1997): “Rayos cósmicos en las fronteras de la energía”. *Investigación y Ciencia* 256, 6-12 (marzo).
- 2 Linsley, J.: “Rayos cósmicos” (1978). *Investigación y Ciencia* 24, 26-37 (septiembre).
- 3 Tarlé, G. y Swordy, S.: “Antimateria cósmica” (1998). *Investigación y Ciencia* 261, 6-11 (junio).
- 4 Weidenspointner, Georg y otros (2008): “An asymmetric distribution of positrons in the Galactic disk revealed by  $\gamma$ -rays”. *Nature* 451, 159-162 (10 January).
- 5 Quinn, H. y Witherell, M. (1998): “Asimetría entre materia y antimateria”. *Investigación y Ciencia* 267, 42-47 (diciembre).
- 6 Wilczek, Frank (1981): “Asimetría cósmica entre materia y antimateria”. *Investigación y Ciencia* 53, 32-41 (febrero).
- 7 Quinn, H. y Witherell, M. (1998): “Asimetría entre materia y antimateria”. *Investigación y Ciencia* 267, 42-47 (diciembre).
- 8 Weinberg, S. (1981): “La desintegración del protón”. *Investigación y Ciencia* 59, 16-28 (agosto).
- 9 Bouchiat, M. y Pottier, L (1984): “Preferencia atómica entre izquierda y derecha”. *Investigación y Ciencia* 95, 56-66 (agosto).

- 10 Adair, R. (1988): "Un defecto en un espejo universal". *Investigación y Ciencia* 139, 22-28 (abril).
- 11 Quinn, H. y Witherell, M. (1998): "Asimetría entre materia y antimateria". *Investigación y Ciencia* 267, 42-47 (diciembre).
- 12 Belle Collaboration (2008): "Difference in direct charge-parity violation between charged and neutral B meson decays". *Nature* 452, 332-335 (20 March).
- 13 Guth, A. y Steinhardt, P. (1984): "El universo inflacionario". *Investigación y Ciencia* 94, 66-79 (julio).
- 14 Wilczek, Frank (1981): "Asimetría cósmica entre materia y antimateria". *Investigación y Ciencia* 53, 32-41 (febrero).
- 15 Weinberg, S. (2000): "La unificación de la física". *Investigación y Ciencia* 280, 14-21 (enero).
- 16 Duff, M. (1998): "La teoría M". *Investigación y Ciencia* 259, 48-53 (abril).
- 17 Goldman, T., Hughes, R., Martín Nieto, M. (1988): "Gravedad y antimateria". *Investigación y Ciencia* 140, 22-30 (mayo).
- 18 Hegstrom, R. A. y Kondepudi, D. K. (1990): "La quiralidad del universo". *Investigación y Ciencia* 162, 58-67 (marzo).
- 19 Gardner, Martin (1985): *Izquierda y derecha en el cosmos*. Barcelona, Salvat.
- 20 Ribó, Josep (2002): "Química Macromolecular. Quiralidad macroscópica y quiralidad molecular". *Investigación y Ciencia* 309, 37-39 (junio).
- 21 Schatzman, Evry (1986): *Los niños de Urania*. Barcelona, Salvat, pp. 101-113.
- 22 Borchers, Andrea T.; Davis, Paul A. and Gershwin, M. Eric (2004): "The Asymmetry of Existence: Do We Owe Our Existence to Cold Dark Matter and the Weak Force?" *Experimental Biology and Medicine* 229, 21-32.
- 23 Hegstrom, R. A. y Kondepudi, D. K. (1990): "La quiralidad del universo". *Investigación y Ciencia* 162, 58-67 (marzo).
- 24 Hegstrom, R. A. y Kondepudi, D. K. (1990): "La quiralidad del universo". *Investigación y Ciencia* 162, 58-67 (marzo).
- 25 Hegstrom, R. A. y Kondepudi, D. K. (1990): "La quiralidad del universo". *Investigación y Ciencia* 162, 58-67 (marzo).
- 26 Hegstrom, R. A. y Kondepudi, D. K. (1990): "La quiralidad del universo". *Investigación y Ciencia* 162, 58-67 (marzo).
- 27 Muñoz Caro, Guillermo (2002): "Origen de la vida. Generación espontánea de aminoácidos en el espacio". *Investigación y Ciencia*, 315, 32-33 (diciembre).
- 28 Borchers, Andrea T.; Davis, Paul A. and Gershwin, M. Eric (2004): "The Asymmetry of Existence: Do We Owe Our Existence to Cold Dark Matter and the Weak Force?" *Experimental Biology and Medicine* 229, 21-32.
- 29 Cronin, J. and Pizzarello, S. (1997): "Enantiomeric Excesses in Meteoritic Amino Acids". *Science* 275, 951-955.
- 30 Rubenstein, E.; Bonner, W.A.; Noyes, H.P. and G.S. Brown (1983): "Supernovae and Life". *Nature* 306, 118.
- 31 Bailey J. (2001): "Astronomical sources of circularly polarized light and the origin of homochirality". *Orig. Life Evol. Biosph.* 31, 167-183.
- 32 Parker, E. N. (1983): "Campos magnéticos en el cosmos". *Investigación y Ciencia* 85, 28-39 (octubre).