

nova 1987A - uma quantidade gigantesca, considerando que se trata do efeito da morte de uma estrela apenas. Embora existam outros processos para a formação de poeira no Universo, em particular processos que têm lugar na proximidade de estrelas mais idosas, este é um dos poucos processos que podem justificar a origem da grande quantidade de poeira observada em galáxias distantes e muito jovens.

2) Formação de planetas

Os planetas formam-se no mesmo processo que forma as estrelas, no disco de poeira que se forma em torno de uma protoestrela. Mas os detalhes não são ainda conhecidos. Como é que os grãos de poeira num tal disco podem crescer até formar um “rochedo” e eventualmente um planeta? As próprias colisões com outras partículas de poeira podem destruir os grãos maiores, ou retirar-lhes energia, levando-os a cair para a estrela e impedindo a formação de um planeta. Tal levou os investigadores a colocarem a hipótese da existência de “armadilhas de poeira”, zonas que favorecem uma maior concentração de partículas de poeira e abrem caminho para a formação de corpos cada vez maiores.

Ao observar um disco de poeira em torno de uma estrela jovem (Oph-IRS 48) a 400 anos-luz de distância, o ALMA observou pela primeira vez estas “armadilhas de poeira”. As imagens revelaram uma assimetria bastante acentuada para a distribuição de grãos de poeira grandes neste disco. No sistema de Oph-IRS 48 esta região está relativamente longe da estrela, sendo de prever que venha a ser uma região de formação de cometas. Mas o mesmo processo poderá estar a acontecer em outros sistemas estelares jovens, mais próximo da sua estrela, algo que poderá ser observado muito em breve quando o ALMA estiver concluído.

O ALMA ofereceu outras pistas sobre o processo de formação de planetas. A observação do sistema VLA1623, um sistema de três protoestrelas em formação, revelou a existência de um disco já bem estabelecido em torno de uma delas. Tal não era esperado, pois os modelos existentes indicavam que um disco de material apenas pode estabilizar numa fase posterior do processo de formação de uma estrela. De algum modo outros factores, como campos magnéticos ou turbulência, devem contribuir para a formação de um disco protoplanetário em fases muito iniciais.

Um dos mais curiosos aspectos revelados com o ALMA foi a primeira detecção da localização de gelo (de monóxido de carbono, CO) em torno de uma estrela jovem, a TW Hydrae, num sistema estelar bastante semelhante ao que o Sistema Solar deve ter sido na sua fase de formação. Este é o sistema mais próximo (cerca de 175 anos-luz) onde uma protoestrela aparece com um disco circum-estelar

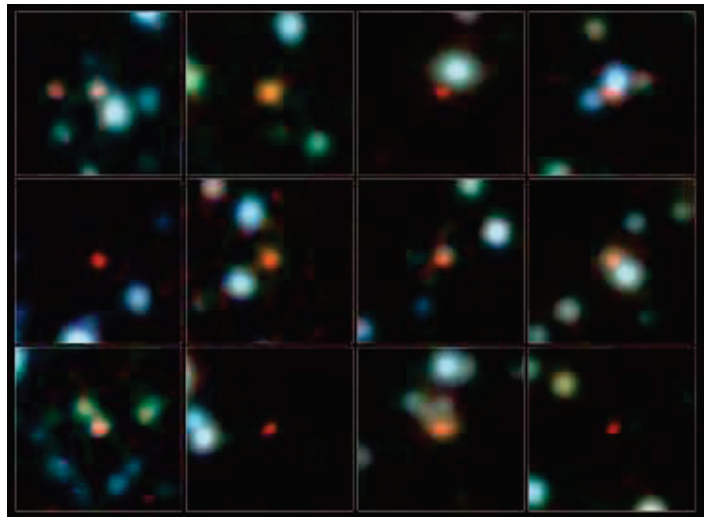


Fig. 4 - Algumas das dezenas de galáxias distantes identificadas em tempo recorde pelo ALMA. As detecções do ALMA são mostradas a vermelho/laranja (no centro de cada imagem), sobrepostas em imagens de infravermelho obtidas com o telescópio espacial Spitzer - e onde as galáxias não são detectadas. O ALMA necessitou apenas de alguns minutos para revelar cada uma destas galáxias. [ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), J. Hodge et al., A. Weiss et al., NASA Spitzer Science Center]

muito rico em gás. Através da observação da molécula N_2H^+ , uma molécula frágil que é destruída na presença de CO gasoso (pelo que apenas será observada em zonas onde o CO congelou), foi possível observar a localização precisa do gelo de CO no disco circum-estelar: situa-se a cerca de 30 UA da proto-estrela. Esta é uma informação importante para compreender a formação de planetas: o gelo de CO formar-se-á na superfície dos grãos de poeira, e ajudará a acelerar a sua aglutinação em corpos maiores e que eventualmente se transformarão em planetas. Por outro lado, o CO é necessário para a formação de metanol, um constituinte de moléculas orgânicas essenciais à Vida. Estaremos a ver o nascimento de futuras novas formas de vida...?

3) A formação e evolução de galáxias

Outro dos tópicos onde se espera um maior impacto das observações do ALMA é o da formação e evolução de galáxias. Numa das suas primeiras observações, o observatório identificou em apenas algumas horas dezenas de galáxias distantes, reveladas através de observações com outros telescópios ao longo de vários anos. Esta é uma demonstração dramática da enorme eficiência do ALMA, ainda mais se considerarmos que estas observações iniciais foram efectuadas com apenas 16 antenas. Curiosamente, muitos dos sistemas observados revelaram-se, graças à resolução do ALMA, não como uma galáxia apenas mas como várias, possivelmente fisicamente relacionadas. Tal resultado tem implicações fortes em qualquer interpretação de observações em sub-milímetro efectuadas a mais baixa resolução: é fundamentalmente diferente para perceber a evolução do Universo ter uma galáxia com uma taxa de formação estelar excepcional ou ter três com taxas de formação estelar mais “aceitáveis”...

Recorrendo a esta espetacular capacidade do ALMA foi entretanto possível começar a “reescrever” a história da

formação estelar no Universo. Sabemos hoje que o Universo formava muito mais estrelas no passado do que hoje – cerca de 10 vezes mais formação estelar há 10 mil milhões de anos, quando o Universo tinha pouco mais de 3,5 mil milhões de anos, do que atualmente. Porém, o ALMA revelou um número significativo de galáxias com formação “explosiva” de estrelas a distâncias ainda maiores, indicando que o Universo pode já estar a formar intensamente estrelas dois mil milhões de anos após o *Big Bang*.

Mas podemos olhar ainda para mais longe com o ALMA. O sistema Himiko, que está tão distante que a sua luz foi emitida quando o Universo tinha apenas 800 milhões de anos, é composto por três galáxias, num processo de fusão que se crê ter acontecido em quase todas as galáxias ao longo da sua vida. A atividade é intensa, havendo formação de estrelas massivas e luminosas que aquecem o espaço envolvente, rico em hidrogénio. Estranhamente, o ALMA não revelou em Himiko qualquer sinal do carbono que deveria estar presente de forma abundante, colocando a hipótese de estarmos a observar a formação de uma galáxia constituída quase inteiramente de hidrogénio primordial e a formar as suas primeiras estrelas.

4) A (nova) Astroquímica

Outra das áreas que mais avançará com as capacidades do ALMA é a do conhecimento da química no Universo. Conhecemos hoje mais de 170 moléculas no espaço, incluindo moléculas orgânicas como açúcares e álcoois. Contudo, a sensibilidade do ALMA é tão grande que muitas das observações revelarão radiação de moléculas ainda não estudadas em laboratório e cuja identificação será assim muito difícil ou mesmo impossível. Nesse sentido foi realizado, nos últimos anos, um enorme esforço para colmatar as lacunas no nosso conhecimento nesta área, havendo hoje investigadores que procuram observar, em laboratório, ou modelar, em computador, muitas das moléculas que esperamos poder observar no meio interestelar. É esperado que este esforço venha a ajudar a reconhecer os sinais dos próprios constituintes da Vida quando o ALMA os observar no espaço.

Um enorme passo foi dado recentemente. Pela primeira vez o ALMA permitiu detectar a presença de um açúcar simples, o glicolaldeído, no gás que rodeia uma estrela binária jovem, com uma massa não muito diferente da do Sol. O glicolaldeído terá sido um dos principais “atores” na química da Terra pré-biótica, levando à formação da Vida que conhecemos. Embora este composto já tivesse sido detectado no meio interestelar, é a primeira vez que é descoberto próximo, a cerca de 25 UA, de uma estrela jovem. Tal mostra como alguns dos componentes básicos da Vida podem já existir mesmo antes da formação dos próprios planetas, e que participam na sua formação desde muito cedo.



José Afonso é licenciado em Física e Mestre em Astronomia e Astrofísica pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Doutorado em Astrofísica pelo Imperial College de Londres, é Investigador na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e Director do Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa. É especialista em formação e evolução de galáxias, cujo estudo efectua recorrendo aos melhores observatórios terrestres e espaciais. Esteve presente no desenvolvimento do ALMA desde 2004, enquanto membro dos comités de aconselhamento científico do projecto (tendo coordenado o painel de aconselhamento do Observatório Europeu do Sul para o ALMA entre 2007 e 2009).



A origem da vida na Terra: contribuição endógena e exógena de moléculas pré-bióticas

Zita Martins

Department of Earth Science and Engineering, Imperial College London, SW7 2AZ, Londres, Reino Unido

z.martins@imperial.ac.uk

A origem da vida na Terra é uma das grandes questões científicas à espera de ser respondida. As mais recentes teorias sugerem que um fornecimento contínuo de água e moléculas orgânicas pré-bióticas seria necessário para a vida ter surgido no nosso planeta. Estes compostos orgânicos poderão ter sido sintetizados no nosso planeta (síntese endógena) ou entregues por cometas, asteroides e meteoritos entre 4,6 e 3,8 mil milhões de anos atrás (entrega exógena). O estudo deste tópico permite obter dados sobre as condições da Terra primitiva, os compostos orgânicos disponíveis e a origem da vida.

Introdução

Teorias modernas sobre a origem da vida na Terra foram formuladas independentemente por Aleksandr Oparin e J. B. S. Haldane no início do século XX [1, 2]. Segundo estes cientistas, a atmosfera da Terra primitiva (entre 4,6 e 3,8 mil milhões de anos atrás) era fortemente redutora (continha metano, amónia, vapor de água e hidrogénio). Além disso, estes cientistas propuseram que compostos orgânicos seriam sintetizados neste tipo de atmosfera com a ajuda de uma fonte de energia (como relâmpagos ou luz ultravioleta), sendo mais tarde acumulados nos oceanos primitivos da Terra (a chamada “sopa primordial”). Ainda segundo eles, as moléculas orgânicas teriam evoluído mais tarde para as primeiras células e organismos vivos. A primeira análise experimental sobre a formação abiótica dos blocos constituintes da vida foi feita em 1953 por Stanley Miller, que na altura era estudante de doutoramento de Harold Urey. Miller construiu um equipamento em que simulava o que se pensava ser a atmosfera e os oceanos da Terra primitiva (de acordo com as

teorias de Oparin e Haldane) (Figura 1). Compostos orgânicos fundamentais para a vida, entre eles aminoácidos (i.e. as moléculas que compõem as proteínas) foram sintetizados através de uma descarga eléctrica numa mistura de gases redutores [3].

Apesar destes resultados terem sido pioneiros, dados geológicos mais recentes mostram que as condições atmosféricas da Terra primitiva não correspondiam às condições experimentais usadas na experiência de Miller [4]. Quando se repete a mesma experiência mas com as condições atmosféricas reais da Terra primitiva, a síntese de compostos orgânicos pré-bióticos não é significativa, ocorrendo apenas

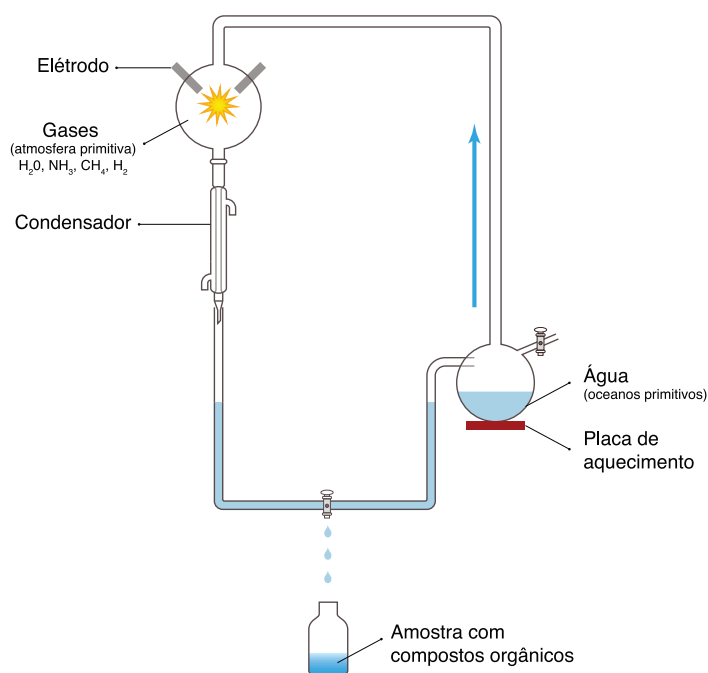


Fig. 1 - A experiência de Miller-Urey em que se simulava o que se pensava ser a atmosfera e o oceano da Terra primitiva. A direcção do vapor de água é indicada pela seta.

Tabela 1 - Abundância de moléculas orgânicas sob a forma de gelo nos cometas Halley, Hyakutake e Hale-Bopp, normalizadas para a água e medidas a ~ 1 unidade astronômica (UA) do Sol. Adaptado das referências [23-24].

Moléculas	Halley	Hyakutake	Hale-Bopp
H ₂ O	100	100	100
H ₂ O ₂		<0,04	<0,03
CO	15	6-30	20
CO ₂	3	<7 ^a	6 ^a
CH ₄	0,2-1,2	0,7	0,6
C ₂ H ₂	~0,3	0,5	0,1
C ₂ H ₆	~0,4	0,4	0,3
CH ₃ C ₂ H			<0,045
CH ₃ OH	1,3-1,7	2	2,4
H ₂ CO	0-5	0,2-1	1,1
HCOOH			0,08
CH ₃ COOH			<0,06
HCOOCH ₃			0,08
CH ₃ CHO			0,025
H ₂ CCO			<0,032
C ₂ H ₅ OH			<0,05
CH ₃ OCH ₃			<0,45
CH ₂ OHCHO			<0,04
NH ₃	0,1-2	0,5	0,7
HCN	~0,2	0,1	0,25
HNCO		0,07	0,10
HNC		0,01	0,04
CH ₃ CN		0,01	0,02
HC ₃ N			0,02
NH ₂ CHO			0,01
NH ₂ CH ₂ COOH			<0,15
C ₂ H ₅ CN			<0,01
CH ₂ NH			<0,032
HC ₅ N			<0,003
N ₂ O			<0,23
NH ₂ OH			<0,25
H ₂ S	0,04	0,8	1,5
OCS		0,1	0,3
SO			0,2-0,8
CS ₂		0,1	0,2
SO ₂			0,23
H ₂ CS			0,02
S ₂		0,005	
NaCl			<0,0008
NaOH			<0,0003

^a Medido a 2,9 UA do Sol.

em alguns locais isolados (i.e. em muito pequena escala), como por exemplo perto de vulcões [5].

Em alternativa à síntese endógena de compostos orgânicos, é proposta a entrega exógena por cometas, asteroides, e seus fragmentos (i.e. partículas de poeira interplanetárias e meteoritos) [6]. De facto, a Terra terá sido fortemente bombardeada por estes corpos celestes entre 4,6 e 3,8 mil milhões de anos atrás, imediatamente antes da vida ter surgido no nosso planeta entre 3,85 a 3,5 mil milhões de anos atrás [7,8].

Cometas

Os cometas são aglomerados de gelo, moléculas orgânicas e silicatos, tendo sido proposto que estes corpos celestes terão entregue compostos orgânicos pré-bióticos na Terra primitiva (e.g. [9]) (Tabela 1). De facto, amostras recolhidas do cometa Wild-2 mostraram a presença do aminoácido glicina [10].

Para além da entrega exógena de compostos orgânicos, foi recentemente provado experimentalmente que o impacto de misturas de gelo análogas a cometas produz moléculas orgânicas complexas [11]. Esta análise experimental mostra que quando um cometa colide com um planeta gera aminoácidos (Figura 2), o que apoia estudos teóricos (simulações em computador) feitos anteriormente dos efeitos de tais impactos [12].

Partículas de poeira interplanetárias e meteoritos

As partículas de poeira interplanetárias e os meteoritos são fragmentos de cometas e asteroides. As partículas interplanetárias de poeira, tipicamente na ordem dos micrómetros (µm) contêm moléculas orgânicas que poderão ter sido entregues intactas para a Terra [13-16]. Por outro lado, os meteoritos (ver caixa de texto) são a fonte mais provável da água no nosso planeta [17], podendo também ter contribuído para o inventário molecular da Terra primitiva. De facto, uma classe particular de meteoritos tem uma matriz rica em carbono, contendo até 5 % do seu peso em carbono [18]. Esta é dividida em matéria insolúvel (correspondente a mais de 70 %, e consistindo maioritariamente em hidrocarbonetos aromáticos) e em compostos orgânicos solúveis (correspondente a menos de 30 %). Dentro destes últimos é possível encontrar vários compostos pré-bióticos que têm um papel fundamental nos organismos vivos actuais, por exemplo aminoácidos (blocos constituintes das proteínas e enzimas) e bases nitrogenadas (compostos do material genético) (Tabela 2).

De forma a determinar se os compostos orgânicos detectados em meteoritos são extraterrestres (e não contaminação terrestre), várias análises podem ser feitas: (1) determinar a razão entre os enantiómeros de moléculas quirais, e (2) determinar os isótopos estáveis de hidrogénio, carbono e/ou azoto.

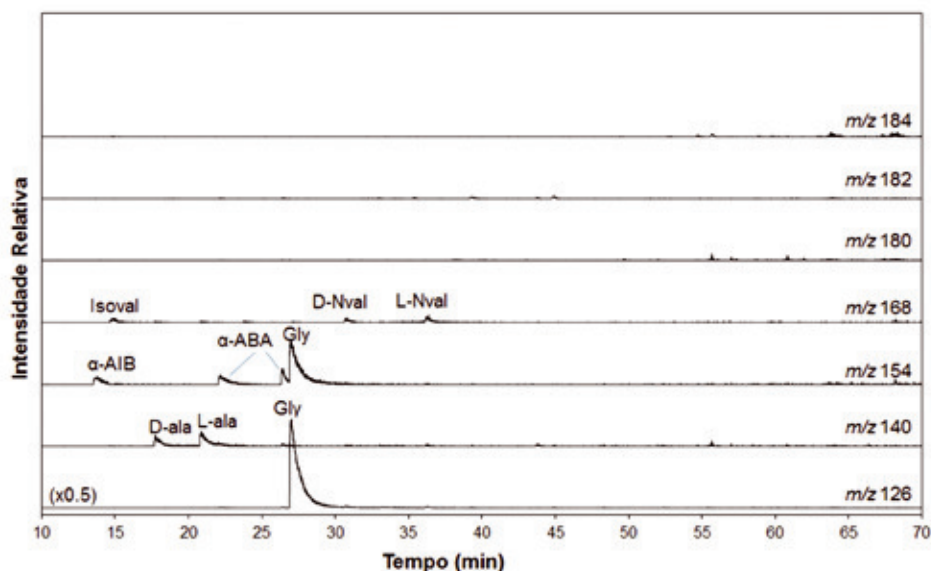


Fig. 2 - Aminoácidos identificados após o impacto de uma mistura de gelo análoga a cometas; Gly. Glicina; D-ala. D-alanina; L-ala. L-alanina; α-AIB. Ácido α-aminoisobutírico; α-ABA. Ácido α-aminobutírico; Isoval. Isovalina; D-Nval. D-Norvalina; L-Nval. L-Norvalina.

A quiralidade é uma ferramenta importante que permite distinguir a origem das moléculas orgânicas presentes em meteoritos. Por exemplo, os aminoácidos têm duas formas (L- e D-) que tal como as nossas mãos são a imagem no espelho uma da outra, mas não se conseguem sobrepor. Na Terra, a maioria dos organismos vivos usa L-aminoácidos. Passados longos períodos de tempo após um organismo morrer, os L-aminoácidos começam a

Tabela 2 - Abundâncias dos compostos solúveis presentes no meteorito Murchison (miligrama da molécula orgânica por quilograma de meteorito). Adaptado das referências [28-30].

Compostos	Abundâncias
Ácidos carboxílicos (mono-)	332
Ácidos sulfúricos	67
Aminoácidos	60
Dicarboximidas	> 50
Ácidos dicarboxílicos	> 30
Poliols	24
Acetonas	17
Hidrocarbonetos (aromáticos)	15-28
Ácidos hidroxicarboxílicos	15
Hidrocarbonetos (alifáticos)	12-35
Álcoois	11
Aldeídos	11
Aminas	8
Ácido piridinocarboxílico	> 7
Ácido fosfórico	1,5
Purinas	1,2
Diaminoácidos	0,4
Benzotiofenos	0,3
Pirimidinas	0,06
N-heterociclos básicos	0,05-0,5

ser convertidos na forma D- (mantendo sempre um excesso de L-aminoácidos) através de um processo de racemização. Contudo, nos meteoritos não só foram encontrados mais de 80 aminoácidos [19], mas a maioria dos aminoácidos é racémico (ou seja, tem quantidades iguais de D- e L-aminoácidos). Assim, através da razão entre o enantiómero D- e o enantiómero L- de um aminoácido específico é possível determinar a origem dos aminoácidos detectados em meteoritos (o mesmo pode ser aplicado a outras moléculas quirais).

Contudo para moléculas não quirais (e também para moléculas quirais) o melhor teste para determinar a origem das moléculas orgânicas é através da análise dos isótopos estáveis de hidrogénio, carbono e azoto. A abundância dos isótopos estáveis $\delta / \text{‰}$ é expressa através da seguinte expressão:

$$\delta / \text{‰} = \frac{(R_{\text{amostra}} - R_{\text{standard}})}{R_{\text{standard}}} \times 1000$$

R representa as razões $^2\text{H}/^1\text{H}$ para hidrogénio, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ para carbono, e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ para azoto. Os standards geralmente usados são o valor médio da água do mar (*standard mean ocean water, SMOW*) para o hidrogénio, Pee Dee Belemnite (PDB, em que o belemnite é um fóssil do Cretáceo encontrado na formação geológica Pee Dee na Carolina do Sul, Estados Unidos da América) para o carbono, e ar para o azoto.

Os compostos orgânicos encontrados em meteoritos apresentam valores de δD , $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ muito diferentes da matéria orgânica terrestre. Os valores terrestres para δD são menores do que -30‰ , os de $\delta^{13}\text{C}$ variam entre -5 e -30‰ , e os valores de $\delta^{15}\text{N}$ variam entre -5 e $+20 \text{‰}$ [20]. Por outro lado, as moléculas orgânicas presentes em meteoritos são substancialmente enriquecidas em deutério (^2H), ^{13}C carbono e ^{15}N azoto, o que implica uma origem extraterrestre abiótica (i.e. formados sem a presença de organismos vivos). É sugerido que isto seja o resultado de reacções químicas interestelares a baixa temperatura (e.g. [21,22]).

Conclusão

Moléculas orgânicas pré-bióticas detectadas em cometas, asteroides, meteoritos e partículas de poeira interplanetárias terão sido entregues por via exógena na Terra primitiva entre 4,6 e 3,8 mil milhões de anos atrás. Estas, juntamente com moléculas orgânicas sintetizadas de forma endógena no nosso planeta poderão ter desempenhado um papel fundamental na origem da vida na Terra.

Os **meteoritos** são objectos extraterrestres que sobreviveram à passagem através da atmosfera terrestre e ao impacto na superfície da Terra. Os meteoritos são derivados de asteroides ou cometas (com excepção dos poucos meteoritos derivados da Lua e de Marte). O seu nome deriva da cidade ou formação geográfica mais próxima do local onde foram encontrados. No caso de meteoritos Antárticos o seu nome é seguido de um número. Os primeiros dois dígitos correspondem ao ano em que o meteorito foi encontrado, e os três últimos correspondem ao número espécime. Os meteoritos podem ser divididos em três classes: ferrosos (compostos por ferro-níquel), rochosos-ferrosos (mistura de silicatos e ferro-níquel metálico), e rochosos (compostos por silicatos). Podem ser divididos em várias sub-classes e grupos baseados na sua composição química e mineral.

Designa-se por **enantiómeros** as moléculas que são a imagem no espelho uma da outra mas não são sobreponíveis. Uma boa forma explicar o conceito de enantiómeros é feita pela visualização das nossas mãos; são a imagem uma da outra mas não é possível sobrepor-las. Uma mistura de enantiómeros é chamada de mistura racémica.

Moléculas pré-bióticas são moléculas formadas no Espaço ou na Terra por processos não biológicos (i.e. formadas na ausência de seres vivos), ainda antes da vida ter surgido no nosso planeta. Muitas destas moléculas terão contribuído para a composição da primeira célula e dos primeiros organismos vivos

Agradecimentos

Este trabalho é financiado pela Royal Society.

Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.

Referências

1. A. I. Oparin, "Proiskhodenie Zhizni", Mos-coksky Rabotichii, Moscovo, (1924) (Traduzido por A. S. Bernal, "The origin of life", Weidenfeld e Nicolson, Londres, 199-234 (1967).
2. J. B. S. Haldane, "The origin of life", Ration. Ann. 148, 3-10 (1929).
3. S. L. Miller, "A production of amino acids under possible primitive Earth conditions", Science 117, 528-529 (1953).
4. J. F. Kasting, "Earth's early atmosphere", Science 259, 920-926 (1993).
5. A. P. Johnson et al., "The Miller volcanic spark discharge experiment", Science 322, 404 (2008).
6. C. Chyba e C. Sagan, "Endogenous production, exogenous delivery and impact-shock synthesis of organic molecules: an inventory for the origins of life", Nature 355, 125-132 (1992).
7. J. W. Schopf, "Microfossils of the early Archean Apex Chert: New evidence of the antiquity of life", Science 260, 640-646 (1993).
8. S. J. Mojzsis et al., "Evidence for life on Earth before 3,800 million years ago", Nature 384, 55-59 (1996).
9. J. Crovisier e D. Bockelée-Morvan, "Remote observations of the composition of cometary volatiles", Space Sci. Rev., 90, 19-32 (1999).
10. J. E. Elsila et al., "Cometary glycine detected in samples returned by Stardust". Meteoritics and Planetary Science 44, 1323 (2009).
11. Z. Martins et al., "Shock synthesis of amino acids from impacting cometary and icy planet surface analogues", Nature GeoScience 6, 1045-1049 (2013).
12. N. Goldman et al., "Synthesis of glycine-containing complexes in impacts of comets on early Earth". Nature Chemistry 2, 949-954 (2010).
13. S. G. Love e D. E. Brownlee, "Heating and thermal transformation of micrometeoroids entering the earth's atmosphere", Icarus 89, 26-43 (1991).
14. S. J. Clemett et al., "Identification of complex aromatic molecules in individual interplanetary dust particles", Science 262, 721-725 (1993).
15. G. Matrajt et al., "FTIR analysis of the organics in IDPs: Comparison with the IR spectra of the diffuse interstellar medium". Astron. Astrophys. 433, 979-995 (2005).
16. J. P. Bradley et al., "Detection of solar wind-produced water in irradiated rims on silicate minerals". Proceedings of the National Academy of Sciences 111, 1732-1735 (2014).
17. C. M. O'D. Alexander et al., "The provenances of asteroids, and their contributions to the volatile inventories of the terrestrial planets", Science 337, 721 (2012).
18. C. M.O'D. Alexander et al., "The classification of CM and CR chondrites using bulk H, C and N abundances and isotopic compositions", GCA 123, 244-260 (2013).
19. Z. Martins e M. A. Sephton, "Extraterrestrial amino acids", Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 1-42 (2009).
20. M. L. Fogel e L. A. Cifuentes, "Isotope frac-

- tionation during primary production”, Plenum Press, New York (1993).
21. R. Terzieva e E. Herbst, “The possibility of nitrogen isotopic fractionation in interstellar clouds”, *Mon. Not. Royal Astron. Soc.* 317, 563-568 (2000).
 22. J. Aléon e F. Robert, “Interstellar chemistry recorded by nitrogen isotopes in Solar System organic matter”, *Icarus* 167, 424-430 (2004).
 23. P. Ehrenfreund et al., “Astrophysical and astrochemical insights into the origin of life”, *Rep. Prog. Phys.* 65, 1427-1487 (2002).
 24. P. Ehrenfreund e S. B. Charnley, “Organic molecules in the interstellar medium, comets, and meteorites: A voyage from dark clouds to the early Earth”, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 38, 427-483 (2000).
 25. J. Crovisier et al., “The composition of ices in comet C/1995 O1 (Hale-Bopp) from radio spectroscopy. Further results and upper limits on undetected species”, *Astron. Astrophys.* 418, 1141-1157 (2004).
 26. D. Bockelée-Morvan et al., “New molecules found in comet C/1995 O1 (Hale-Bopp). Investigating the link between cometary and interstellar material”, *Astron. Astrophys.* 353, 1101-1114 (2000).
 27. M. J. Mumma et al., “Parent volatiles in comet 9P/Tempel 1: Before and after impact”, *Science* 310, 270-274 (2005).
 28. O. Botta e J. L. Bada, “Extraterrestrial organic compounds in meteorites”, *Surv. Geophys.* 23, 411-467 (2002).
 29. M. A. Sephton e O. Botta, “Recognizing life in the Solar System: guidance from meteoritic organic matter”, *Int. J. Astrobio.* 4, 269-276 (2005).
 30. S. Pizzarello et al., “The organic content of the Tagish Lake meteorite”. *Science* 293, 2236-2239 (2001).



Zita Martins é *Research Fellow* da Royal Society no Imperial College London (Reino Unido). Licenciou-se em Química pelo Instituto Superior Técnico, e doutorou-se em Astrobiologia na Universidade de Leiden (Países Baixos). Foi Cientista Convidada da NASA Goddard e Professora Convidada na Universidade Nice-Sophia Antipolis (França). Em 2009 é galardoada com uma *University Research Fellowship* da Royal Society. O seu trabalho consiste na análise de moléculas orgânicas em meteoritos e na identificação de sinais de vida no Sistema Solar. É Co-Investigadora da missão espacial OREOcube, membro do Comité da Astrobiology Society of Britain, do Painel de Opinião Barómetro de Inovação da COTEC, e Editora do *International Journal of Astrobiology*. Participa activamente em actividades de comunicação de Ciência (mais detalhes em <http://www3.imperial.ac.uk/people/z.martins>). Foi seleccionada como *BBC's Expert Women Scientist*, e teve a honra do seu retrato ser pintado para a exposição da Royal Society sobre mulheres de sucesso em ciência.