

## Física no Mundo

### Descobertas recentes de planetas extra-solares

A possibilidade de existência de outros sistemas planetários, para além do sistema solar, tem sido considerada ao longo da história, desde a civilização grega, há mais de 2000 anos. Sabemos hoje que a probabilidade de sistemas planetários extra-solares poderá não ser pequena se tivermos em atenção que existem cerca de  $2 \times 10^{11}$  estrelas na nossa galáxia e, provavelmente, cerca de  $10^{11}$  galáxias no Universo observável. Haverá algo realmente ímpar no nosso sistema solar que o torne raro, raríssimo ou mesmo único? A história da busca de planetas extra-solares é fascinante mas contá-la não é o objectivo desta nota. Peter Van de Kamp, a partir de 1938, procurou descobrir planetas em torno de uma estrela muito próxima – a estrela de Barnard – mas sem sucesso. Desde o início dos anos 80, B. Campbell procurou planetas em 21 estrelas semelhantes ao Sol, utilizando o método da velocidade radial. Este método consiste na observação de deslocamentos Doppler, periódicos, das riscas do espectro de uma estrela provocados pela sua revolução em torno do centro de massa comum à estrela e a um planeta. As investigações de Campbell foram também infrutíferas e, para grande surpresa de todos, o primeiro planeta extra-solar foi descoberto a orbitar um pulsar, ou seja, uma estrela de neutrões.

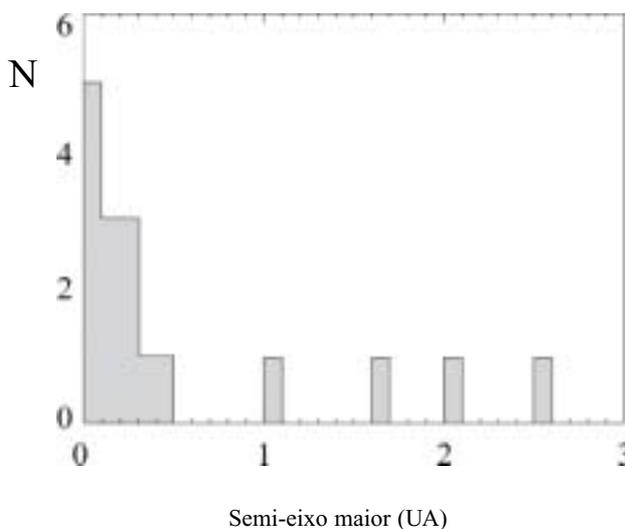
Michel Mayor e Didier Queloz, da Universidade de Genebra (Suíça), voltaram a usar o método das velocidades radiais, mas com uma tecnologia muito mais avançada, e em 1995 descobriram um planeta em torno de uma estrela do tipo do Sol – 51 Pegasi. Em 1996, P. Butler e G. Marcy, da Universidade de São Francisco (EUA), confirmaram a descoberta dos dois astrónomos europeus e anunciaram a observação de um outro planeta em torno da estrela 47 Ursae Majoris.

A partir daí as descobertas sucederam-se a um ritmo impressionante e, em Janeiro do corrente ano, tinham-se já observado 17 planetas extra-solares através do método das velocidades radiais. O método permite apenas determinar um limite inferior para a massa do planeta e favorece a detecção de planetas de grande massa e período relativamente pequeno. Apesar destas dificuldades, pode já concluir-se que há uma acumulação de massas  $M < 5 M_J$  (com  $M_J$  é a massa do planeta Júpiter). Poucos casos há com massas compreendidas entre  $5 M_J$  e  $75 M_J$ . Isto significa que  $5 M_J$  é possivelmente a separação entre as populações de planetas e anãs castanhas.

Porém, o resultado mais surpreendente são os valores da distância média dos planetas extra-solares à respectiva estrela. Mais de 60 % dos planetas observados até ao início deste ano têm órbitas com um semi-eixo maior  $< 0,3$  UA (a unidade astronómica, UA, é a distância média da Terra ao Sol). Há vários casos de planetas com massas comparáveis à massa de Júpiter que se encontram a uma distância média da estrela 10 vezes menor do que a distância de Mercúrio ao Sol.

Este resultado põe em causa as teorias sobre formação de sistemas planetários nos quais os planetas gigantes, com massa comparável à de Júpiter, se formam a distâncias maiores do que 4 a 5 UA. Como explicar a presença de planetas gigantes tão próximos da estrela? Podem resultar de um complexo processo migratório, através do disco do sistema planetário, causado por instabilidades gravitacionais. Pouco se sabe e é necessário investigar mais.

Em 15 de Abril deste ano, abriu-se uma nova fase no notável processo de descoberta de planetas extra-solares. Pela primeira vez, astrónomos de quatro instituições detectaram a presença de três planetas em órbita na estrela Upsilon Andromedae, que se encontra à distância de 44 anos-luz. Em 1996 tinha sido já descoberto um planeta nesta estrela por G. Marcy e P. Butler, mas só agora foi possível identificar sinais de dois outros planetas nos dados obtidos com o telescópio do Observatório de Lick, na Califórnia (EUA). Paralelamente, astrónomos de outras instituições, observando no Observatório de Whipple, Arizona (EUA), chegaram ao mesmo resultado. Obteve-se, assim, a primeira indicação



Histograma do semi-eixo maior dos planetas extra-solares. Note-se a acumulação de planetas para raios inferiores a  $0,3$  UA, provavelmente resultante da migração de protoplanetas com massas comparáveis à de Júpiter.

clara que os sistemas planetários poderão ser relativamente frequentes na Via Láctea. O planeta mais próximo da estrela tem a sua órbita à distância de 0,06 UA, período de 4,6 dias e massa de 0,75  $M_J$ . O segundo está à distância de 0,83 UA (comparável à distância de Vénus ao Sol), tem período de 242 dias e massa de 2  $M_J$ . Finalmente, o mais afastado está à distância de 2,5 UA, numa órbita bastante excêntrica, com período de cerca de 4 anos e massa de 4  $M_J$ . Novamente estes resultados são surpreendentes. Nenhuma teoria previu que pudessem existir três planetas gigantes tão próximos da estrela.

Actualmente, não é ainda possível detectar planetas com a massa da Terra por meio do método das velocidades radiais utilizando os instrumentos de observação de que dispomos. Porém, a situação irá certamente mudar nos próximos anos com o projecto "Space Interferometry Mission" (SIM), da NASA, e com o projecto "Infrared Space Interferometer" (ISI), da Agência Espacial Europeia (ESA). O satélite SIM, cujo lançamento está previsto para 2005, irá pesquisar planetas com a massa da Terra em estrelas próximas durante 5 anos. Estamos decerto no início de uma nova era de exploração de sistemas planetários. Sabemos pouco, quase nada. Porém, temos a certeza de que há muito por descobrir nesta nova fronteira do conhecimento.

*Filipe Duarte Santos*

(Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, e Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa)

[fdsantos@val.ul.pt](mailto:fdsantos@val.ul.pt)

#### Referências

- [1] M. Mayor e D. Queluz, "Nature" 378 (1995) 355  
[2] G. Marcy e P. Butler, A. Rev. Astronomia, Astrophys 36 (1998) 57.

## A descoberta de novas cinturas de radiação da Terra

Os primeiros resultados da análise dos dados recolhidos pelo Espectrómetro Magnético Alfa (AMS) durante o seu voo de teste a bordo do vaivém espacial Discovery, que teve lugar em Junho de 1998, revelaram a presença insuspeitada de uma nova cintura de partículas a volta da Terra.

A cintura, constituída por electrões, positrões, prótons e núcleos de hélio, foi medida a 400 km de altitude e estende-se para ambos os lados do equador até latitudes de 30 graus. A energia das partículas estende-se até alguns GeV, mas está abaixo da energia mínima para vencer o efeito da blindagem do campo magnético terrestre daquelas latitudes.

Além desta anomalia, a composição do anel apresenta ainda duas outras surpresas: o número de positrões é cerca de três vezes maior que o de electrões e o hélio 3 é dominante na cintura enquanto, a energias mais elevadas, o hélio da radiação cósmica é maioritariamente o hélio 4.

Estes resultados foram apresentados no dia 28 de Maio de 1999, num simpósio realizado no Fermilab (Chicago, EUA), pelo Dr. Samuel Ting, Prémio Nobel da Física e responsável pela experiência. A AMS é uma colaboração internacional patrocinada pelo Departamento de Energia dos EUA com a colaboração da NASA, e que inclui uma equipa de físicos portugueses coordenada pelo LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas). A colaboração AMS prepara uma nova versão mais avançada do detector que deve voar a bordo do vaivém espacial em fins de 2002 e ser finalmente instalado na Estação Espacial Internacional em 2005, onde permanecerá em aquisição de dados por um período de três anos.

*Gaspar Barreira*

(Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, Lisboa)

[gaspar@lip.pt](mailto:gaspar@lip.pt)



Lançamento do vaivém espacial norte-americano

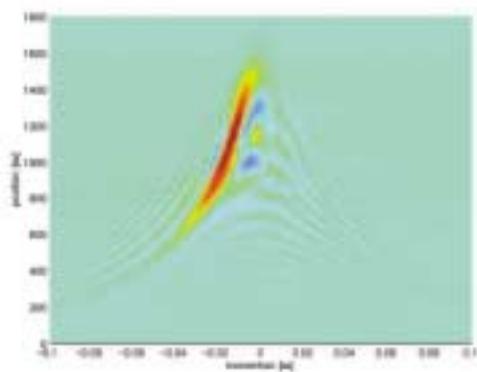
## Novos Elementos superpesados

Uma equipa de cientistas americanos e alemães descobriram em Berkeley, EUA, em Junho de 1999, dois novos elementos superpesados. A descoberta dos elementos 118 e 116 – conjuntamente com a descoberta do elemento 114 em Dubna, na Rússia, no início deste ano – confirma a existência da chamada "ilha de estabilidade", uma família de elementos superpesados com uma vida relativamente longa. "Saltámos por cima de um mar de instabilidade para uma ilha de estabilidade que as teorias previam desde os anos 70," afirmou Victor Ninov, o primeiro autor de um artigo submetido à "Physical Review Letters".

Ver <http://PhysicsWeb.org/article/news/3/6/5>.

## A palavra "optics" escrita num só átomo

É possível mostrar a enorme capacidade de informação que existe mesmo num só átomo de hidrogénio. O truque consiste em "esculpir" a nuvem electrónica que rodeia um átomo de modo a formar as letras de uma palavra. Fazendo incidir um pulso de laser ultravioleta muito curto e ondas electromagnéticas de baixa frequência sobre um átomo, um dos electrões pode ir para um estado de elevada de energia, designado por estado de Rydberg, no qual deixa de existir como uma nuvem que rodeia o núcleo para se transformar num pacote de ondas que orbita em volta do núcleo como um planeta anda à volta do Sol. Aplicando uma série de pulsos pode criar-se um conjunto de pacotes de onda que se combinam uns com os outros como ondas de água e se cancelam mutuamente em sítios específicos para formar padrões na parte exterior do átomo, tais como a palavra "optics", na qual os pontos de cada letra correspondem a lugares possíveis para encontrar o electrão



Os átomos podem ser excitados de modo a serem ocupados vários níveis de energia ao mesmo tempo. Átomos muito excitados (ditos de Rydberg) e a sua multidão de níveis poderão um dia ser empregues para codificar e manipular informação num computador quântico. Esta imagem mostra um pacote de ondas medido num átomo de césio. O padrão indica a posição provável e o momento linear do electrão excitado. O seu tamanho é ditado pelo princípio da incerteza de Heisenberg.

numa experiência de medida. Apesar de nem este feito nem o acto de medir com precisão esses padrões espaciais serem actualmente exequíveis tecnologicamente, Carlos Stroud, da Universidade de Rochester, e Michael Noel, da Universidade de Virgínia (EUA), assinaram que um electrão num estado de Rydberg com  $n=50$  (49 estados de energia mais alta que a do estado fundamental) tem 2500 estados possíveis de momento angular, e mostraram que estes estados podem ser combinados de muitas maneiras diferentes para formar, por exemplo, a referida palavra.

Ver "Optics & Photonics News", April 1999; figura animada em <http://www.aip.org/physnews/graphics>.

## A constante de Hubble começa a ficar constante

Os astrónomos estão a aproximar-se da idade certa do universo. Numa conferência de imprensa realizada em Maio de 1999, o "Hubble Space Telescope Key Project Team" anunciou que o seu valor final para a constante de Hubble implica que o universo tem 12 mil milhões de anos, mais ou menos mil milhões de anos. A equipa usou o telescópio de Hubble para medir quase 800 estrelas variáveis Cefeidas – estrelas pulsantes que actuam como fontes de luz "standard" e permitem, portanto, medidas precisas da distância – em 18 galáxias até uma distância de 65 milhões de anos-luz. Uma análise diferente feita por Charles Lineweaver, da Universidade de New South Wales, em Sidney (Austrália), sugere que o Universo tem 13,4 mil milhões de anos, mais ou menos 1,6 mil milhões de anos. O resultado de Lineweaver, que se baseia em medidas das microondas cósmicas e seis outras medidas cosmológicas, foi publicado na "Science"[284 (1999) 1503]. As estrelas mais velhas do universo têm entre 11 e 14 mil milhões, o que cabe na actualidade do universo. Outros resultados recentes tinham sugerido que o universo apenas

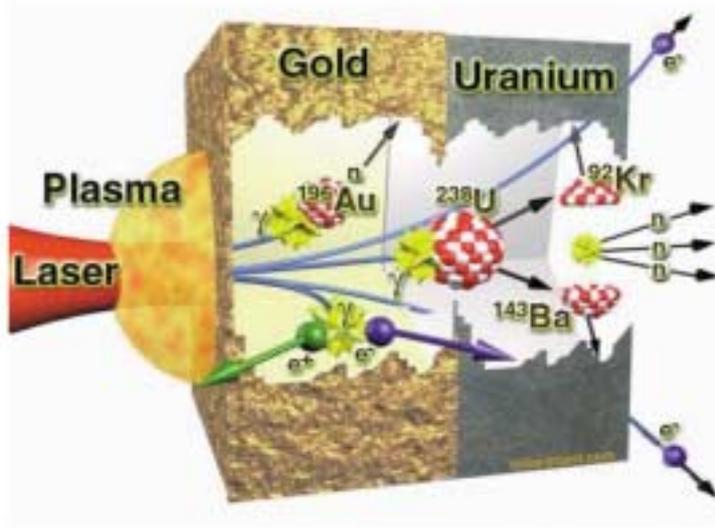
tinha 10 mil milhões de anos, pelo que algumas estrelas seriam mais velhas que o próprio universo...

Ver <http://PhysicsWeb.org/article/news/3/5/12>.

## Lasers ultra-intensos originam cisão nuclear e criam antimatéria

Experiências recentes usando o laser mais intenso do mundo permitiram entrar num novo regime de alta energia de interações laser – matéria na qual são importantes processos nucleares e criação de anti-matéria. Lasers ultra-intensos com pulsos muito curtos permitem estudar fenómenos que só se podiam estudar em aceleradores de partículas. A investigação foi conduzida no Lawrence Livermore National Laboratory usando o laser de petawatt, assim chamado porque produz 1 PW de potência durante um pulso muito breve (ver <http://www.llnl.gov/str/Petawatt.html> e "Physics Today", Jan/1998). O feixe foi focado num disco fino de ouro por trás do qual existiam algumas gramas de urânio fechadas num cilindro de cobre. Dentro do foco do laser, os campos magnético e eléctrico eram tão intensos que, durante uma única oscilação da onda da luz laser, os electrões foram arrancados aos átomos de ouro e acelerados a mais de 3 MeV.

Foi medida a distribuição de energia destes electrões para procurar evidência para outros fenómenos que podiam ocorrer em violentas interações laser – sólido. A equipa incluía cientistas do George Marshall Space Flight Center", Universidade de Alabama (Huntsville), Associação de Universidades para a Pesquisa Espacial, Universidade de Harvard e GSI-Darmstadt, Alemanha. Quando se mediu o espectro de energia dos electrões produzido nas interações laser-sólido, encontraram-se provas de que as energias desses electrões chegavam a 100 MeV. Esta energia é muito maior do que a que tinha sido observada antes em expe-



Esquema da interação de um feixe laser ultra-intenso com a matéria (ouro e urânio)

riências do mesmo tipo. Simulações computacionais sugerem que, a estas intensidades tão elevadas, o feixe laser pode interaccionar com o plasma que se forma na superfície do alvo, dividir-se em filamentos, ser melhor focado ou mesmo deflectido, enquanto os electrões do plasma aceleram até energias elevadas. À medida que os electrões colidem com os átomos no alvo geram-se raios X de alta energia e uma cascata de partículas secundárias, incluindo neutrões e outros resíduos nucleares, se os raios X tiverem energia suficiente para causar reacções nucleares no material do alvo. Esta sequência de eventos à medida que o feixe laser interage com o ouro e o urânio está representada na figura apresentada (em cima).

Tentou-se encontrar provas de reacções nucleares induzidas pelo laser procurando restos radioactivos que tenham ficado no alvo depois da passagem do laser. Detectaram-se muitas linhas estreitas de raios gama, que provinham dos decaimentos de uma variedade de núcleos radioactivos produzidos quando os electrões de alta energia interagiram com a matéria do alvo. Por exemplo, encontrou-se um isótopo radioactivo do ouro ( $^{196}\text{Au}$ ) produzido por raios X de alta energia que

arrancaram um neutrão do núcleo estável do ouro ( $^{197}\text{Au}$ ). Medindo os raios gama emitidos em tempos diferentes a seguir ao impulso laser, mediram-se as meias-vidas de muitos produtos radioactivos e deste modo identificaram-se isótopos instáveis que foram produzidos quando os raios X de alta energia causaram a cisão do urânio 238. Estes fragmentos de cisão incluíam vários isótopos do estrôncio, bário, ítrio, molibdénio, tecnécio (e.g.,  $^{101}\text{Tc}$ ), cézio e xénon (e.g.,  $^{128}\text{Xe}$ ): a observação de cisão nuclear e a emissão de fotoneutrões nesta experiência mostra que as energias dos raios X gerados excedem o limiar para o desencadear destas reacções, 5 e 8 MeV respectivamente.

A escala de energias dos electrões laser-plasma produzidos nas experiências também excede o limiar para a criação de pares electrão-positrão, que é cerca de 1 MeV. Contaram-se mais de 100 positrões individuais num único disparo de laser e determinou-se que o rendimento é aproximadamente consistente com o que se esperaria da produção de pares electrão-positrão pelo fluxo de raios X de alta energia passando pelo alvo. Procuram-se provas de pares electrão-positrão produzidos directamente por colisões electrão-ião no

plasma de laser. Isto poderá ter relevância para plasmas astrofísicos, por exemplo nos discos de acreção num buraco negro ou nos processos de pares em plasmas relativistas que se julgam regular a estrutura temporal de descargas intensas de raios gama .

Estas experiências mostram que os lasers ultra intensos entraram num novo regime de física de plasmas relativista, no qual são importantes processos nucleares e de criação de anti-matéria. Pode-se estar perto de conseguir, num laboratório terrestre, as condições de plasma relevantes para processos astrofísicos.

Thomas Cowan

Ver APS Virtual Press Room

<http://www.aps.org/meet/CENT99/vpr>.

## O que dizem os físicos

### Sobre a Teoria Quântica

#### Niels Bohr:

“Quem não estiver chocado pela teoria quântica é porque a não percebeu.”

#### Albert Einstein:

“Se a teoria quântica está correcta, isso significa o fim da Física como uma ciência”.

#### Freeman Dyson:

“O Dick Feynman contou-me a sua versão da mecânica quântica na forma de “soma sobre histórias”. “O electrão faz o que lhe apetece”, disse-me. “Vai em qualquer direcção a qualquer velocidade, para a frente ou para trás no tempo, conforme lhe dá na telha, e então tu somas as amplitudes e isso dá-te a função de onda.” Eu disse-lhe: “Estás maluco”. Mas não estava.”

#### Richard Feynman:

“Penso que posso dizer com segurança que ninguém entende a mecânica quântica”.