

O Bóson de Higgs e a massa de todos os corpos

A ideia de que a massa é um processo dinâmico, consequência da interação de um campo sem massa com um agente externo, tem mais de um século

Por Mario Novello

EM SÍNTESE

A partir da revolução ocorrida na física nas primeiras décadas do século passado, em especial as teorias da relatividade especial e geral, os cientistas se deram conta de que não apenas a massa gera um campo gravitacional: toda e qualquer forma de energia, ponderável ou não, também faz isso. Assim, o processo gravitacional é não linear, pois a gravitação também tem energia e como

toda forma de energia produz gravitação. Segue-se então que a gravitação produz gravitação. Com a moderna teoria da gravitação de Einstein penetramos um território formal controlado por processos não lineares. Recentemente, no entanto, descobriu-se que a intensidade do campo gravitacional não desempenha qualquer papel no mecanismo gravitacional de geração de massa.

AGLOMERADO GALÁCTICO DE VIRGEM,
ou Cadeia Markarian. O núcleo desse aglomerado
localiza-se a 70 milhões de anos-luz.

NAS ÚLTIMAS DÉCADAS OS FÍSICOS DE ALTAS ENERGIAS PERSUADIRAM-SE DE QUE A ORIGEM DA MASSA de todos os corpos está associada à existência de uma partícula cuja função no Universo seria a de dar massa às demais partículas fundamentais. Essa quase unanimidade não foi alcançada sem méritos: através de um mecanismo de quebra de simetria (situação em que evidências de uma simetria anterior podem ser percebidas) elaborou-se um modelo cuja função formal permite assimilar o aparecimento da massa a um modo dinâmico pelo qual uma partícula sem massa (em geral descrita como um campo que se espalha continuamente no espaço) adquire massa através de um processo de interação.

A ideia de que a massa é um processo dinâmico, consequência do resultado da interação de um campo sem massa com um agente externo, não é recente: tem mais de 100 anos. Atribui-se a Ernst Mach, físico e filósofo austríaco, a primeira tentativa de produzir

um modelo da origem da massa dos corpos. Um forte argumento que serviu de base a Mach para considerar essa sugestão, está ligado à universalidade da interação gravitacional, pois tudo que existe interage com a gravitação. Assim, argumentou ele, seria na-

tural esperar que a gravitação estivesse na origem da massa. Essa hipótese parecia tão natural quanto impositiva. Como a física newtoniana dominante no século 19 afirmava que a massa é a origem da força gravitacional, isso deu origem a um interessante processo autorreferente: a gravitação gera a massa que por sua vez gera a gravitação.

A partir da revolução das primeiras décadas do século 20, graças em parte à teoria da relatividade especial e, posteriormente, a da relatividade geral, os físicos reconheceram que não só a massa gera um campo de gravitação. Na verdade, toda e qualquer forma de energia, ponderável ou não, produz gravitação. É por isso que o processo gravitacional é não linear, pois a gravitação também tem energia e como toda e qualquer forma de energia produz gravitação. Segue-se então que a gravitação produz gravitação. Assim, com a moderna teoria da gravitação de Einstein, entrou-se no território formal controlado por processos não lineares.

MACH ESQUECIDO

Mas a incapacidade de transformar a conjectura de Mach em proposta objetiva capaz de gerar uma análise quantitativa impediu durante todo o século 20 que essa origem gravitacional da massa fosse considerada como algo mais que simples sugestão elegante, mas vaga. Seu caráter apenas qualitativo teve como consequência seu esquecimento até recentemente. Em contraposição, ao longo da década de 70, por razões de ordem formal o interesse em identificar a origem da massa reapareceu. Os físicos começaram a aceitar a hipótese básica de Mach de que a massa não deveria ser um conceito elementar, mas ter origem dinâmica e resultar de um processo de interação, ainda que não se tenha retornado à proposta do mecanismo gravitacional. Há duas razões para isso: 1) pela ausência de um modelo completo capaz de permitir análises quantitativas e de

Mario Novello é doutor em física pela Universidade de Genebra, na Suíça. Colaborador frequente de **Scientific American Brasil**, fundou e dirige o Grupo de Cosmologia do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF/CNPq e a Escola de Cosmologia e Gravitação do CBPF. É autor de vários livros de divulgação científica.

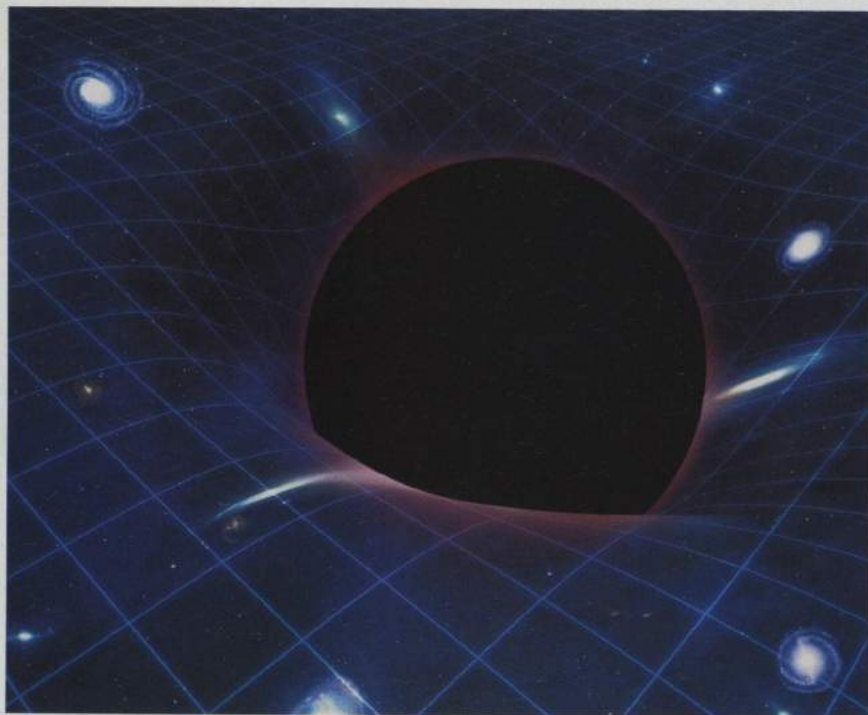
mostrar como um processo de interação gravitacional pode conferir massa a um campo sem massa; 2) devido à crença generalizada de que esse processo gravitacional deveria satisfazer as exigências da teoria moderna da gravitação (relatividade geral). Como consequência, ele deveria depender da intensidade da curvatura do espaço-tempo, que, nessa teoria, é o que caracteriza a presença de um campo gravitacional. Se isso fosse verdade, como entender então que a massa de um corpo independe das propriedades locais onde esse corpo se encontra? Certamente vale a pena notar que estamos nos referindo à massa de repouso do corpo.

A questão que se colocou então foi: o que seria responsável, no mundo da microfísica, por esse papel? Alguma das interações conhecidas ou se deveria considerar uma hipótese nova, associada à existência de um novo processo universal? Os físicos passaram a procurar no interior do regime das partículas elementares por esse processo. Descartaram a gravitação, por sua fraca intensidade, e as forças eletromagnéticas, que não são universais. Restaram as forças nucleares, de curto alcance, e a questão se colocou assim: sob que forma essa força nuclear poderia gerar condições para o aparecimento da massa? E, antes de qualquer outra coisa, o que seria o condutor desse processo?

Foi então que se optou por um novo agente, com características simples, que se consubstanciou sob a forma de um novo campo es-

calar, conhecido pelo nome de um dos seus criadores, o doutor Higgs. Aparece assim a construção teórica do bóson-H. O mecanismo pelo qual o bóson-H concede massa é um pouco técnico para ser desenvolvido aqui, mas podemos dizer duas ou três coisas sobre ele para termos ao menos uma ideia, ainda que simplificada, desse processo. Começamos pela suposição de que o campo que descreve o bóson-H possui massa e, por diferentes razões, que essa massa devesse ser elevada (algumas centenas de milhares de vezes a massa do elétron, por exemplo). Uma segunda suposição é que esse campo-H deveria interagir com ele mesmo. Enquanto a primeira hipótese poderia ser testada por experiências, a segunda permaneceria para sempre inobservável, a não ser por algum de seus possíveis efeitos. Como consequência dessa hipótese de autointeração o bóson-H admite, entre suas configurações possíveis, um estado especial de vácuo, em que sua energia seria mínima.

Curiosamente, nesse estado fundamental, sua distribuição de energia seria constante em todo lugar e, se interpretada como um fluido perfeito, a relação



NÃO SÓ A MASSA PRODUZ um campo gravitacional capaz de curvar a estrutura do espaço-tempo: toda e qualquer forma de energia também gera esse efeito

entre sua pressão e densidade de energia satisfaria a mesma equação de estado típica de uma constante cosmológica.

Esse fato deveria chamar a atenção dos físicos para o papel que a gravitação desempenha nesse mecanismo de construção de massa, posto que a presença de uma constante cosmológica é típica da formulação de Einstein para essa forma de fluido perfeito. Embora alguns comentários tenham aparecido aqui e ali, como no curso de M. Veltman no Cern em 1996, foi só em 2011 que um cenário completo, elaborado a partir da ideia original de Mach, foi elaborado. Como resultado descobriu-se que contrariamente ao que se aceitara até então, a intensidade do campo gravitacional não desempenha qualquer papel no mecanismo gravitacional de geração de massa. Descobriu-se que a força gravitacional funciona como um catalisador nesse processo, servindo de ponte entre um estado de energia fundamental – representado por uma constante cosmológica – e o campo a que ele dará massa.

Também de forma curiosa, esses dois mecanismos, o do bóson-H e o da gravitação, exigem a existência de um estado fundamental em que a energia, a partir da qual se concederá massa às partículas, se encontre homoganeamente distribuída no espaço. No caso do bóson-H essa distribuição é entendida como consequência de auto interação do bóson-H consigo mesmo. No caso gravitacional ela pode ser atribuída ao vácuo de todos os campos da física, ou ter uma origem clássica – conforme Einstein concebeu há quase 100 anos.

Ao ser desenvolvido o novo mecanismo gravitacional percebeu-se que as antigas críticas a esse modelo não são realistas. Não vamos entrar em detalhes aqui. Mas apenas para que o leitor tenha uma ideia da questão vamos enfatizar que, como o papel da gravitação é apenas o de um catalisador, duas críticas apontadas antes contra a proposta dinâmica de Mach não podem ser mantidas. A gravitação penetra em todas as ações da matéria, mas age sobre elas, gerando a massa, somente como intermediária entre o Universo e o corpo em questão. Tudo se passa, nessa função, como alguém que deixa atrás de si seu perfume característico. Contribuir para a fixação dessa fragrância nessa analogia é precisamente o papel da gravitação. Ou seja: ela é apenas um catalisador.

A DESCOBERTA DO MÉSON-SIGMA

A descoberta do bóson-H nos remete à identificação, há uma década, da partícula chamada méson-sigma, que também é um bóson (partícula que obedece as estatísticas de Bose-Einstein) e, segundo a teoria, teria um papel semelhante ao do bóson-H na cromodinâmica quântica, a teoria das interações nucleares forte. Ou seja, esse méson-sigma conferiria massa a prótons e nêutrons e, conseqüentemente, à grande maioria da matéria ponderável existente no Universo. Mas, na época, a mídia foi quase indiferente a essa descoberta. Há, evidentemente, diferenças entre as duas descobertas e até mesmo de suas importâncias no cenário da microfísica.

De modo geral, novas partículas são descobertas em aceleradores por colisões entre partículas primárias, como prótons, chocando-se com outros prótons, no caso do LHC. No processo de colisão

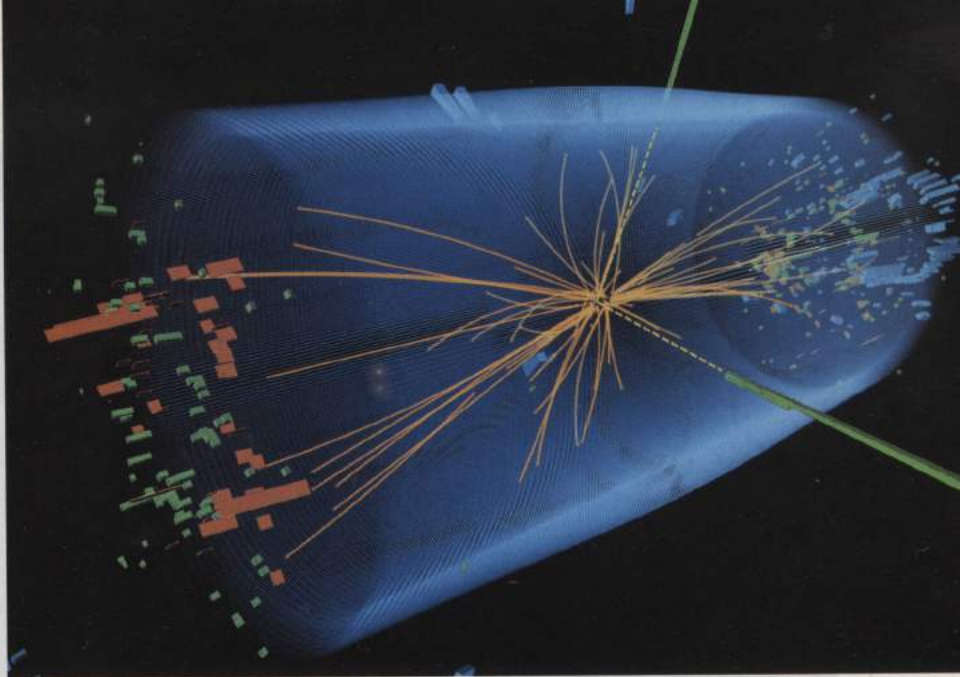


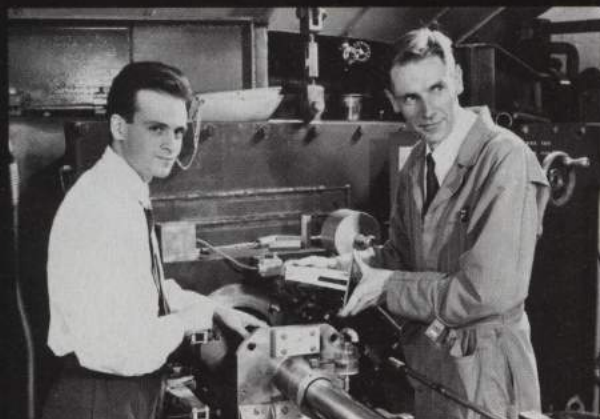
IMAGEM MOSTRA CARACTERÍSTICAS esperadas para o registro em experimento no detector CMS, instalado no LHC, na Suíça: bóson de Higgs decai em um par de fótons, as linhas amarelas e azuis.

é liberada energia suficiente para criar várias partículas individualmente rastreadas por detectores, colocados na região da colisão. Depois de coletadas as informações enviadas pelos detectores, são feitas análises nos centros de pesquisas para compreensão das propriedades dessas fragmentações e na busca de vestígios de novas partículas. Em geral, conhece-se, com antecedência, as características das partículas que se estão procurando, o que permite construir aceleradores e detectores capazes de maximizar a probabilidade de encontrá-las. A condição necessária para que isto ocorra é que o acelerador forneça energia para a colisão maior que a massa das partículas envolvidas. Assim, a descoberta de novas partículas depende diretamente das energias disponíveis nos aceleradores, ou, em outras palavras, da tecnologia da época. Isso ocorreu, por exemplo, na produção do méson Pi em acelerador, que teve a participação direta do cientista brasileiro Cesar Lattes na década de 50 e, de modo análogo, na recente descoberta do bóson-H. Ainda assim, a diferença de massa entre as duas partículas (o méson Pi e o bóson-H) é de um fator mil. A primeira foi produzida em um acelerador de poucos metros de diâmetro e energia mil vezes menor que a do LHC, onde se achou o bóson-H.

BUSCA INFRUTÍFERA

A descoberta de outra partícula fundamental, o méson Sigma, fugiu dessa relação direta entre tecnologia acessível e observação. Proposta no início na década de 60 com massa prevista como pouco maior que a do méson Pi, ela poderia ter sido observada naquela década com os aceleradores disponíveis. Logo em seguida à sua previsão os físicos experimentais iniciaram uma busca que, durante 40 anos, se mostrou infrutífera, com alguns alarmes falsos. A perplexidade foi tanta que físicos mais afoitos começaram a criar novas teorias baseadas na inexistência do méson Sigma. A mais conhecida delas recebeu o nome de “the non-linear sigma model” e foi sugerida pelo físico americano Steven Weinberg, ganhador do Prêmio Nobel por seus trabalhos anteriores na elaboração do Modelo Padrão das partículas elementares. Só 40 anos após

Em Busca da Moderna Tabela de Mendeleiev



FÍSICO BRASILEIRO CÉSAR LATTES (esquerda) ao lado de seu colega americano Eugene Gardner, em março de 1948, na descoberta do primeiro píon produzido por aceleradores de partículas.

Há diferentes hierarquias na caracterização das partículas microscópicas, algumas vezes também chamadas de partículas elementares. Recentemente, físicos que trabalham com altas energias iniciaram um procedimento de classificação diferente do tradicional, sintetizado a seguir de maneira compacta para melhor compreensão por parte dos leitores.

Nucleons (Próton e Nêutron) e Elétron

Prótons e o elétrons são partículas fundamentais estáveis. Acredita-se que o próton positivamente carregado não deixa de ser próton nunca: isto é, ele jamais se desintegra em outras partículas. O mesmo fenômeno ocorre com o elétron negativamente carregado. O outro importante elemento do átomo, o nêutron, tem uma vida média baixa, da ordem de poucos minutos. Se ele aparece nesse es-

quema isso se deve à sua importância na construção dos elementos químicos do universo.

Méson-Sigma e Meson-Pi

São os responsáveis pelas interações da matéria hadrônica. O méson-Pi (ou píon) foi identificado por Cesar Lattes, Occhialini e Powsel. Os outros dois cientistas receberam por essa identificação o Prêmio Nobel de Física. Independentemente do interesse que esse prêmio possa ter, ainda hoje uma boa parte da comunidade científica internacional considera-se injusta a ausência de Lattes em Estocolmo. O méson-sigma foi identificado recentemente por cientistas brasileiros (ver quadro).

Bósons Vetoriais

São os intermediários das interações fraca e eletromagnética. Foram detectados quatro bósons vetoriais que se identificam pelas letras $W(+)$, $W(-)$, Z e gama. Os dois primeiros são massivos e possuem carga elétrica. O bóson Z é neutro e sem massa e o gama é o fóton. Os três primeiros são os responsáveis por intermediar a interação fraca (a desintegração ou decaimento da matéria) e o fóton é o intermediário da interação eletromagnética.

Neutrinos

Junto com o elétron forma uma família à parte chamada lépton e estão sempre envolvidos nas interações fracas de desintegração. Além do estável elétron, existem dois outros léptons chamados múon e tau. Cada um desses dois léptons, assim como o elétron, dispõe de seu neutrino correspondente. Neutrinos podem ter tido um importante papel na história da evolução do Universo. Em 1972 o físico polonês B. Kuchowicz publicou uma importante resenha sobre o que chamou de o papel cósmico dos neutrinos. Um capítulo especial desse trabalho foi dedicado ao exame de uma possível dependência cósmica das interações fracas. Essa relação do mundo microscópico com a evolução do Universo segue a linha idealizada pelo físico inglês Paul Dirac e posteriormente defendida por César Lattes e outros que pro-

a predição, no início de 2000, apareceram sinais concretos da existência do sigma. O surpreendente, aqui, não foi só o tempo de busca, mas também a maneira de como e onde isso aconteceu.

Um grupo de físicos brasileiros do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) formado por Ignácio Bediaga, Alberto Reis, Jusara Miranda e dois estudantes, Carla Gobel e André Massafferri, trabalhando na análise dos dados de uma experiência feita no Fermilab, nos Estados Unidos, estudaram as propriedades de desintegração das partículas chamadas charmosas (por serem compostas de pelo menos um quark do tipo charm). Descobertas havia mais de 20 anos, restavam ser feitos estudos sobre suas desintegrações. Por ser uma partícula muito mais massiva, o charm pode se desintegrar de vários modos. Em especial esses cientistas analisaram a desintegração do méson com charm em três mésons Pi. Na maioria das vezes esse processo ocorre em duas etapas, o méson com charm (D) se desintegra inicialmente produzindo duas partículas,

um méson Pi e uma outra de uma classe de partículas chamada ressonância (R). Essa classe se caracteriza por um tempo de vida muito efêmero e, no caso estudado, se desintegra por sua vez em dois mésons Pi, resultando ao final em três píons observados. Esse tipo de processo é de uma riqueza enorme, porque existem várias ressonâncias que se desintegram em dois mésons Pi e todas elas, em maior ou menor grau, contribuem na formação do estado final da desintegração da partícula com charm. Isso implica um emaranhamento quântico, entre os vários caminhos possíveis de serem percorridos no processo total de desintegração. O trabalho dos físicos experimentais é tentar desembaraçar os efeitos quânticos para individualizar a contribuição de cada uma dessas ressonâncias nas desintegrações do charm, que participou na formação do estado final observado de três píons.

O grupo brasileiro que trabalhava nessa análise não conseguia encontrar uma solução minimamente aceitável para o desembara-

puseram uma dependência (espaçotemporal) de todas as interações. Enquanto no caso das forças eletromagnéticas essa relação foi tentada apenas pela caracterização da dependência da carga do elétron com sua posição no espaço-tempo-proposta que ainda hoje se investiga – no caso das interações fracas essa dependência poderia ter outra forma. Sabe-se que a interação fraca viola paridade. Isso significa que aparece uma dependência nesses processos de decaimento que se distinguem pela reflexão especular. Isto é, a desintegração vista do lado de lá de um espelho, como diria Alice, não tem a mesma aparência da que ocorre do lado de cá. Essa violação da paridade é uma característica fundamental desse tipo de decaimento. A dependência cósmica a que me referi antes significaria que esse processo de violação da paridade seria acumulativo, dependente da evolução do Universo. Essa hipótese poderia ter relevância cósmica nos momentos de alta condensação do Universo onde se deu o processo chamado nucleossíntese de formação dos elementos químicos mais leves como o hidrogênio e o hélio. Essa questão poderia também lançar luz sobre outra que ainda hoje os cientistas não conseguiram resolver e que podemos simplesmente caracterizar pela pergunta: por que, no Universo, existe mais matéria do que antimatéria?

Sabemos que se o Universo fosse simétrico e, por exemplo, contivesse o mesmo número de bárions (matéria convencional) e antibárions, deveríamos explicar por que não se observa essa antimatéria. E, além disso, por que eles se separaram e não se aniquilaram ao longo da história do Universo? O cosmólogo brasileiro Ruben Aldrovandi examinou em sua tese de doutorado, na década de 70, a proposta defendida pelo físico francês R. Omnès sobre a teoria simétrica matéria/antimatéria no Universo, e desde então, têm aparecido várias propostas para explicar a origem do excesso de matéria bariônica (basicamente, os prótons) sobre os antibárions. O cientista russo A. Sakharov, que recebeu o título de doutor Honoris Causa da Universidade de Lyon por seus trabalhos relacionando o micro e o macrocosmos estabeleceu alguns critérios que deveriam servir de guia para entender esse desbalanceamento dos bárions. Passaram-se já mais de 50 anos e seu trabalho original ainda não foi implementado pelos físicos. Esse é um dos problemas

que o cientista russo V. Ginzburg, em 1970, enumerou como uma das questões não resolvidas mais importantes da física e da astrofísica e que ainda hoje desafia os físicos.

Hierarquia no Microcosmos

Como em um conto de ficção, o cientista russo M. A. Markov elaborou um cenário para unificar o mundo micro e macro através da descrição da microfísica como se o interior de uma partícula pudesse ser descrito como um universo de Friedmann que se expande e colapsa. Markov conseguiu uma expressão formal capaz de descrever modelos cosmológicos do tipo universos de Friedmann com uma extensão analítica para aquilo que poderíamos chamar de "seu exterior"; no qual esse universo seria assimilado a uma estrutura elementar, um átomo ou uma partícula elementar, espalhando-se em um meio exterior, o seu "environment".

O mundo quântico passaria assim a ser representado como uma estrutura contínua. Uma configuração assim não é tão exótica como parece à primeira vista. Em uma interpretação da mecânica quântica proposta pelo físico francês Louis de Broglie e desenvolvida anos depois pelo inglês-brasileiro David Bohm, a estrutura básica do microcosmo pode ser interpretada como uma estrutura contínua no espaço-tempo. A proposta de Markov, construída há mais de 30 anos, não teve sequência maior e deixou apenas uma lembrança: a de que não sabemos como representar, em termos cotidianos, o que se passa no interior do que chamamos partícula elementar. A grande maioria dos cientistas considera essa questão simplesmente como um nonsense, algo mal formulada. Se o físico suíço Wolfgang Pauli estivesse vivo é possível que repetisse seu bordão arrogante e castrador dizendo que essa proposta de Markov "...it is not even wrong"... Cientistas menos críticos consideraram essa proposta de Markov como um exercício formal digno de análise envolvendo a habilidade matemática de representar o que se poderia chamar "interior de uma partícula elementar" como uma estrutura geométrica, solução cosmológica das equações de Einstein da relatividade geral. Isso nos leva à questão que estamos tratando aqui: o que podemos dizer sobre essas partículas no Universo?

nhamento, mesmo usando todas as partículas ressonantes conhecidas e bem estabelecidas à época. Os resultados obtidos foram desanimadores. Várias hipóteses relativas à interação entre os píons foram consideradas, mas nenhuma apresentou resultado razoável. Após longuíssimas discussões, chegou-se à conclusão de que o então hipotético méson Sigma poderia ser a chave para entender o emaranhamento. Entre outras previsões pensava-se que ela seria da classe das partículas ressonantes, ou que se desintegrava em dois mésons pi.

Como em um passe de mágica, no entanto, ao incluir o méson Sigma no grupo de ressonâncias que poderiam ter participado na desintegração do charm, a equipe brasileira encontrou uma solução satisfatória de forma imediata e o desemaranhamento ficou esclarecido. Os meses anteriores sem resultados concretos mudaram de um dia para o outro, com a simples inserção de uma previsão que então completava 40 anos. Mas o fato é que o méson Sigma era res-

ponsável por cerca de 50% de todas as outras possibilidades somadas. Depois de mais estudos e novas técnicas chegou-se finalmente à certeza de que se tratava do evasivo méson-sigma. O processo de revisão e análise crítica por parte de outros cientistas foi longo e penoso, até que a aprovação dos resultados da equipe brasileira fosse comprovada e aceita pela comunidade internacional.

O BOSON-H E O UNIVERSO

O Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (CERN) anunciou recentemente que experiências realizadas em sua máquina de acelerar partículas, o Large Hadron Collider (LHC), teria revelado fortes indícios de que uma partícula de massa de 125 GeV poderia ser o procurado bóson escalar chamado bóson-H. Em várias reuniões com a imprensa divulgadas a partir daquele anúncio apareceram diversas considerações relacionando a descoberta do bóson-H à elucidação dos mistérios da origem do Universo. Essa afirmação é o

que os americanos chamam de “wishful thinking”. Para ser mais claro: seja a partícula descoberta no CERN o bóson-H ou não, seja ela responsável pela determinação da massa de todos os outros corpos ou não, a descoberta lança pouca luz (para ser otimista) sobre as origens do Universo. Para entendermos isso façamos uma breve incursão às raízes históricas da questão cosmológica.

ALGUMAS CERTEZAS E CRENÇAS SOBRE O UNIVERSO

O Universo está em expansão e essa é uma certeza. Estará sendo acelerado? A acreditar no Comitê Nobel, sim. Mas devemos ter cautela nessa afirmativa, pois alguns cientistas de destaque (caso de Volodia Belinski, prêmio Marcel Grossmann deste ano, Wolfgang Kundt, famoso colaborador de Jordan e David Wiltshire, para citar uns poucos) não estão convencidos disso e apresentaram críticas não facilmente respondidas. Uma revisão completa dessa questão e argumentos pró e contra serão motivo de discussão na Brazilian School of Cosmology and Gravitation (BSCG-15) que o Instituto de Cosmologia, Relatividade e Astrofísica (ICRA) previa realizar em agosto passado em Mangaratiba.

Isso quanto ao presente. E quanto ao passado? É aqui que supostamente o bóson-H teria alguma influência. O que sabemos

sobre o passado do Universo? De uma abordagem conservadora, pode-se dizer o seguinte:

1) O Universo foi muito concentrado em um passado que dista de nós (usando o tempo cósmico) da ordem de uns poucos bilhões de anos;

2) Havia nesse período uma sopa cósmica envolvendo a matéria em equilíbrio com diversas formas de energia;

3) Antes disso, as partículas estavam livres, por exemplo prótons e outras espécies que entrariam em cena de acordo com sua energia de repouso, como elétrons, além de neutrinos e quarks.

Para podermos afirmar com alguma certeza o que teria ocorrido antes é necessário conhecer o que controlava a dinâmica do Universo naquele período. Três possibilidades têm sido examinadas:

a) Aceitar a validade ininterrupta da teoria clássica da relatividade geral ao longo de toda a história do Universo;

b) Aceitar que processos de natureza quântica da gravitação possam aparecer quando o volume total do espaço atinge valores tremendamente pequenos;

c) Alteração na dinâmica da gravitação.

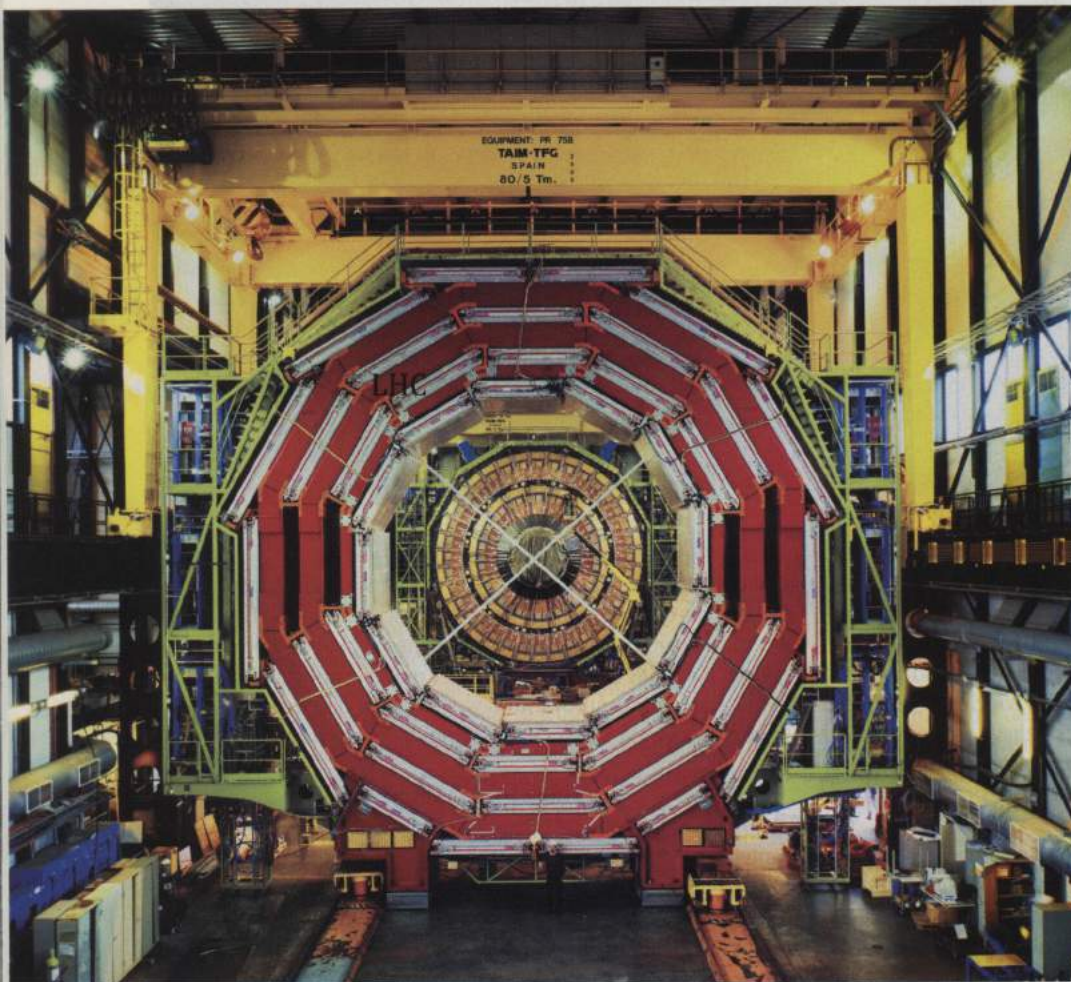
Como consequência dessas possibilidades, podemos esperar dois tipos de cenário:

1) Aparecimento de uma singularidade clássica (na década de 70 até o começo deste século, essa opção era preferida pela comunidade científica);

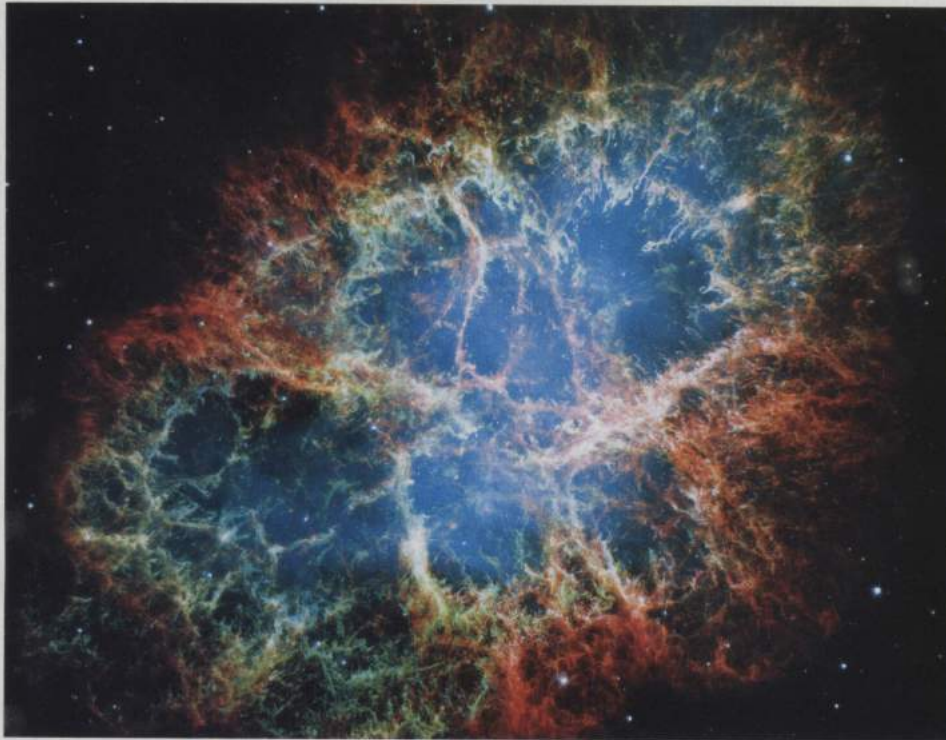
2) Aparecimento de um *bouncing* (isto é, de uma fase anterior em que o Universo sofreria um colapso e depois de atingir um valor mínimo para seu volume entrar na atual fase de expansão).

Ao aceitarmos a hipótese do Big Bang como começo de tudo-que-existe, somos levados a limitar nosso conhecimento do Universo pois os primeiros momentos de sua história são impossíveis de serem descritos racionalmente. De fato, devemos aqui recordar a argumentação que tratei em outro lugar e que repito de forma condensada já que, há, aqui, um detalhe que tem faltado às análises que envolvem a questão do Big Bang e que vai além do simples exame desse modelo e seu poder explicativo. É verdade que ao serem indagados sobre “o Universo é singular?” ou “existiu um momento único de criação do nosso Universo?” um grande número de cosmólogos tenha respondido “sim”, embora com ênfase maior nas duas últimas décadas do século passado. Mas essa indagação, embora explicitamente uma necessidade atávica do homem, estava mal colocada.

Essa não era a pergunta adequada, pois para respondê-la é necessário empreender extrapolação impossível de ser controlada pela ob-



SELENOIDE DE MÚON COMPACTO (CMS, na sigla em inglês), um dos detectores de partículas instalados no LHC, onde, em 4 de julho passado, físicos obtiveram evidências do bóson de Higgs.



NEBULOSA DO CARANGUEJO, remanescente da supernova de 1054: explosões de estrelas desse tipo têm nos neutrinos, partículas fantasmas, gatilho de detonação nuclear.

servação direta. A boa questão – essa sim, com consequências científicas relevantes – é um pouco menos preciosa, menos exuberante, aparentemente menos abrangente, mas bem mais fundamental. A pergunta que deve ser feita é esta: pode a ciência produzir uma explicação racional para a evolução do Universo, se o Big Bang for identificado com o começo-do-Universo? Para entendermos completamente essa questão precisamos esclarecer as propriedades deste modelo. Mas é possível, antes disso, dar uma primeira visão das dificuldades intransponíveis que um cenário explosivo provoca. Essa conclusão depende diretamente do modo como os cientistas constroem uma descrição racional do Universo.

De modo geral, a física se organiza a partir do princípio de Cauchy que descreve o modo pelo qual se dá o concerto entre teoria e observação. Ao realizar uma experiência, certo número de informações sobre um dado processo físico é obtido. Com a repetição desta ou de outras observações, alarga-se o conhecimento de diferentes propriedades associadas ao fenômeno em questão. Esse processo é então descrito por uma teoria que permite conhecer sua evolução temporal e inferir previsões. Novas observações permitem verificar a validade ou não dessas previsões. Esse procedimento é bastante geral, e mesmo uma história do Universo pode ser estabelecida dentro deste modo convencional de organização. Assim, o cientista produz uma explicação dos fenômenos segundo o esquema “observação-teoria-observação”. Para que se possa efetivamente seguir esse procedimento convencional na cosmologia, é indispensável obter observacionalmente informações sobre as características do Universo em dado momento. Só assim se poderia elaborar e testar teorias globais de sua evolução. Se, por alguma razão, em algum momento, não for possível medir quantidades físicas de natureza global associadas ao Universo como um todo, esse modo de proceder não poderia ser empregado.

Há várias condições para que esse procedimento possa ser efetivado. A mais simples e fundamental entre elas requer que todas as grandezas envolvidas sejam descritas por quantidades finitas. Isso se deve ao caráter finito de toda observação, pois qualquer medida requer um número real e finito para caracterizá-la. Assim, ao identificar o começo-de-tudo com uma explosão inicial como faz a proposta do cenário Big Bang – em que quantidades que poderiam ser em princípio observáveis atingiriam, segundo este modelo, o valor infinito (como a densidade de energia total do Universo), esta condição básica não estaria sendo preenchida. Segue-se, como consequência inevitável, a impossibilidade de construção de uma ciência da Natureza envolvendo a totalidade do que existe: não seria possível construir uma base teórica a partir da qual uma história completa do Universo se estabeleceria. A cosmologia não descre-

veria esta Totalidade, ou seja, no modelo Big Bang *stricto sensu*, a cosmologia não poderia constituir-se como ciência.

Ao aceitarmos a solução de um Universo sem singularidade, exibindo um *bouncing*, outras interessantes questões aparecem. Nesse caso, o Universo teria tido uma fase anterior colapsante, na qual seu volume total diminui com o passar dos tempos, passado por um valor mínimo e então iniciado a fase atual de expansão. Ou seja, o mistério inacessível da singularidade é transformado em duas novas questões da ciência: 1) Por que o Universo teria iniciado essa fase de colapso gravitacional? 2) Por que essa fase teria terminado e se transformado na atual fase de expansão?

Essas são as questões que os cientistas estão examinando neste momento e que exibem uma vez mais a inesgotabilidade da investigação racional da natureza. ■

PARA CONHECER MAIS

- B. Kuchowicz: The cosmic neutrino (Nuclear Energy Information Center, Varsóvia, 1972)
- I. Bediaga, A. Reis, Jussara M de Miranda em um trabalho coletivo da Colaboração E791 publicado na *Physical Review Letters* 86, 2001, 770.
- V. L.Ginzburg: Key problems of physics and astrophysics (Mir Publications, Moscou, 1976)
- Frank Wilczek: Origins of mass (arXiv 1206.7114v1) 2012.
- M. Veltman: Reflections on the Higgs system (CERN, 1996)
- A. D. Dolgov: Cosmology and physics beyond the standard model (Brazilian School of Cosmology and gravitation, Rio de Janeiro, 2006 (Ed. Novello e Perez Bergliaffa).
- Robert Musil: Pour une évaluation des doctrines de Mach (Presses Universitaires de France, Paris, 1980).
- M. Novello: The gravitational mechanism to generate mass in *Classical and Quantum Gravity*, 28 (2011) 035003.
- A.D.Sakharov: Violation of CP invariance, C asymmetry and baryon asymmetry of the universe in *Soviet Physics Uspekni* 34 (1991) 392.