

A escuridão do Universo

Dados divulgados pela NASA parecem ser a primeira comprovação “direta” da existência da “matéria escura” – um conceito ligado às principais hipóteses que procuram explicar o futuro do Universo

Romildo Póvoa **Faria**

A cosmologia científica atual trabalha em duas vertentes que aparentemente parecem ser completamente contrárias: a imensidão do Universo (conjunto de todas as coisas existentes) e a pequenez do mundo sub-atômico. Isso porque para criar teorias científicas (modelos científicos teóricos) que expliquem a totalidade das coisas existentes é preciso também que esses modelos expliquem o “universo” das partículas elementares e das interações ou “forças” que constituem a matéria e a energia existentes e, por decorrência, os fenômenos observados. E vice-versa.

Um dos entraves para que um “leigo” ou “não-especialista” entenda vários aspectos da ciência, e em particular, da cosmologia científica, decorre da não compreensão do que é “modelo científico” e também da necessidade do uso de conceitos e, principalmente, de conhecimentos de matemática muito além dos triviais.

De forma simplificada pode-se dizer que uma das principais características de um modelo científico é explicar a realidade que se observa de forma coerente a partir de certos princípios aceitos, a priori, como verdades, e possibilitar também a previsão de

fenômenos ainda não observados.

Ou seja, um modelo que se pretenda científico pode e deve ter suas conclusões e previsões testadas através de experimentos e/ou observações que comprovem ser ele adequado e útil ou que comprovem que ele não é bom para explicar e prever fenômenos. Um modelo científico não deve ser encarado, portanto, como uma verdade ou representação definitiva da realidade dos fatos, mas sim como algo provisório para ser utilizado enquanto é corroborado pelos dados observacionais. Caso contrário é necessário substituí-lo ou complementá-lo com um novo ou mais modelos.

Bons e costumeiros exemplos de modelos científicos são os criados por Isaac Newton (físico inglês, 1643-1727) e por Albert Einstein (físico alemão, 1879-1955) acerca dos chamados fenômenos gravitacionais. No modelo newtoniano, a queda de um corpo (de uma maçã, por exemplo) seria ocasionado por uma “força” denominada “gravidade” ou “força gravitacional”, existente entre dois corpos quaisquer do Universo. No caso da queda da maçã, por uma força gravitacional entre ela e a Terra. Já no modelo criado

por Einstein, essa “força de gravidade” não existiria e o fenômeno observado (a queda de um corpo na direção da superfície terrestre) seria causado por uma “curvatura” na estrutura geométrica do “espaço-tempo” devida à massa da Terra.

A “mecânica newtoniana” A explicação newtoniana é aparentemente mais fácil de entender, pois nascemos e fomos condicionados culturalmente e educados numa sociedade onde essa explicação é usada costumeiramente como sendo uma verdade absoluta: a existência da força gravitacional, causadora da queda do corpo e de outros fenômenos observados em nosso cotidiano.

Com a suposição da existência da força gravitacional e, além disso, descrevendo-a através de fórmula matemática, juntamente com outras “leis”, Newton desenvolveu a “mecânica newtoniana”. Essa teoria ou modelo da realidade permitiu o cálculo de vários parâmetros, como a velocidade adquirida por um corpo em queda livre, sua aceleração, o tempo e a posição da queda etc. com suficiente precisão. Além disso, permitiu explicar de forma

coerente todos os fatos dessa natureza observados na Terra e também os relacionados a outros corpos celestes, explicando e prevendo movimentos de planetas, satélites (inclusive a Lua), cometas, estrelas e outros astros, assim como fenômenos como as marés oceânicas e terrestres. Isso, até que novos fatos observados muito depois de sua época foram detectados e não explicados por seu modelo ou teoria.

Um dos primeiros fatos não explicáveis satisfatoriamente pelo modelo newtoniano foi o chamado “avanço do periélio de Mercúrio”. Em seu movimento orbital em relação ao Sol, a distância entre o Sol e cada planeta varia. Na máxima distância diz-se que o planeta está no afélio e na mínima, no periélio. Esse fato é observado com todos os planetas e é explicado pela teoria newtoniana. Mas, no caso de Mercúrio o valor era (e é) maior do que o previsto pela teoria, o que levou os astrônomos a imaginarem que entre o Sol e Mercúrio poderia existir um planeta então não conhecido (apelidado de Vulcano) cuja força gravitacional geraria um periélio maior do que o previsto quando se utiliza a teoria newtoniana. No final do século 19 e início do século 20 tentou-se descobrir esse planeta, em vão.

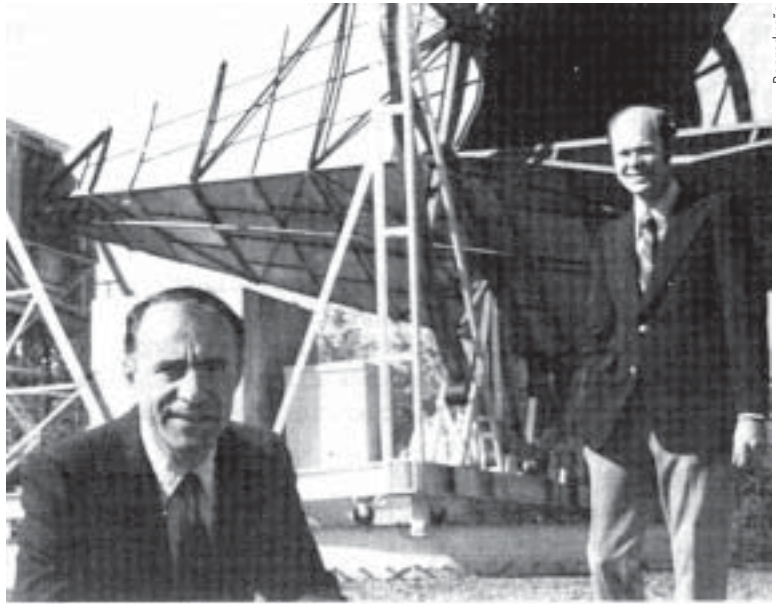
Nessa época Einstein já estava elaborando a Teoria da Relatividade Restrita ou Especial (publicada em 1905) e alguns anos depois (1915) já publicava

artigos nos quais expunha a Teoria da Relatividade Geral com uma nova Teoria da Gravitação. Com ela, Einstein conseguia explicar e calcular o avanço do periélio de Mercúrio dentro da precisão das observações da época, sem a necessidade da suposição da existência de Vulcano. Nela não utilizava a idéia de “força gravitacional” e sim a idéia de “deformação do espaço-tempo” pela presença de uma massa. No caso do avanço do periélio de Mercúrio, a massa do Sol “curva” o “espaço-tempo” ao seu redor – e mais fortemente em sua proximidade, onde está Mercúrio.

Curvatura do espaço-tempo Diferentemente do modelo newtoniano, com o qual estamos acostumados, o modelo einsteiniano da gravidade é muito mais difícil de entender, principalmente se considerarmos sua elaboração matemática, muito mais sofisticada que a matemática utilizada no modelo newtoniano. Simplificadamente, a curvatura do espaço-tempo pode ser visualizada como o que ocorre numa lona elástica, representando a estrutura geométrica do “espaço-tempo”. Sobre ela coloca-se uma bola de ferro bem massiva. A lona (o espaço-tempo) é então afetada pela massa (matéria) da bola de ferro e adquire uma “deformação” na direção da posição da bola, tornando toda a lona curva, com curvatura ou “deformação” mais pro-

nunciada nas proximidades da bola. Qualquer objeto (outra bola, por exemplo) colocado na lona adquirirá um movimento em direção à bola mais massiva. Isso representa a “força gravitacional” suposta por Newton, mas por Einstein considerada apenas com o movimento natural do corpo decorrente da “curvatura do espaço-tempo”. São apenas formas diferentes de explicar o mesmo fenômeno. Ambas podem ser consideradas corretas – tanto é que a teoria newtoniana permite explicar praticamente todos os fatos cotidianos e também observáveis com outros astros, sendo ainda usada normalmente para quase tudo na ciência e tecnologia. Mas para alguns fenômenos astronômicos observados desde o final do século 19 e posteriormente, inclusive no mundo subatômico, o modelo newtoniano não é suficiente para explicá-los. O mesmo não ocorre com o modelo einsteiniano, que além de explicar o que

Em 1917, Einstein propôs um modelo com uma “constante cosmológica”. De Sitter (abaixo, à esq., com Einstein, no canto oposto, na imagem de 1920, à esq.) conseguiu outra solução para as equações da Teoria da Relatividade Geral. Em 1965, Penzias e Wilson (abaixo, à dir.), detectaram os sinais que fizeram com que a Teoria do Big Bang ganhasse mais adeptos



a teoria newtoniana explica, permitiu expor e prever novos fatos posteriormente observados. Por isso, a Teoria de Einstein é aceita e utilizada particularmente na cosmologia e também na explicação e aplicação em fenômenos do mundo das partículas elementares. Mas, principalmente, nesse último caso, ela não é também suficiente e é necessário recorrer à Mecânica Quântica (do físico alemão Max Planck, 1858-1947) e a outras teorias desenvolvidas no século 20 e mais recentemente, já no século 21. Em 1917, com base em sua teoria, Einstein propôs um modelo de universo, no qual utilizou a geometria Riemanniana (elaborada por Bernhard Riemann, 1826-1866). Trata-se de uma geometria não-euclidiana quadridimensional. Einstein considerou três dimensões do espaço (com eixos x, y e z) e uma dimensão como sendo o tempo (t). Ele considerou que o Universo era espacialmente homogêneo (com densidade igual em todas as regiões), isotrópico (com propriedades iguais em todas as direções) e estático ou estacionário. Entretanto, para conseguir a solução das equações introduziu um termo chamado “constante cosmológica” (mais tarde, a considerou o maior erro científico de sua vida). Poucos anos após Einstein criar esse modelo de Universo estacionário, o astrônomo norte-americano Edwin P. Hubble (1889-1953) verificou, a partir da determinação do *redshift* (desvio para o vermelho no espectro das galáxias), que elas se afastavam em altas velocidades, descobrindo que o Universo estava em expansão. Ele estabeleceu, em 1929, que a velocidade de recessão (afastamento) de uma galáxia é proporcional à sua distância a nós. Essa relação, chamada Lei de Hubble, diz, é expressa pela fórmula

$V=Hd$, onde d é a distância, V a velocidade e H é uma constante, denominada constante de Hubble. Essa verificação de que o Universo se expandia, bem como modelos teóricos desenvolvidos por outros cosmólogos indicavam que o modelo proposto por Einstein era inconsistente.

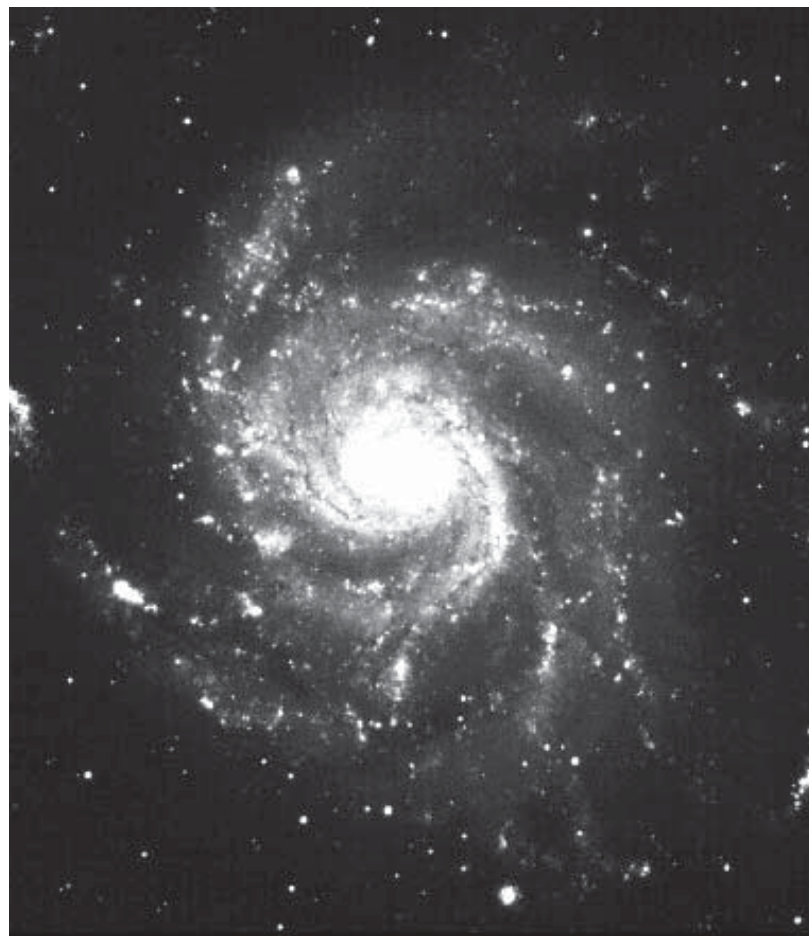
O “átomo primordial” Também em 1917 o astrônomo neerlandês Willen De Sitter (1872-1934) havia conseguido outra solução para as equações da Teoria da Relatividade Geral, sem introduzir qualquer termo novo. O mesmo fez o matemático russo Alexander Friedman (1888-1925), em 1922. Baseando-se na solução de Friedman o astrônomo belga Georges Lemaitre (1894-1986) sugeriu que todo o Universo se originou daquilo que ele chamou de “ovo cósmico” ou “átomo primordial”.

Quando se considera o fato verificado por Hubble de que o Universo está

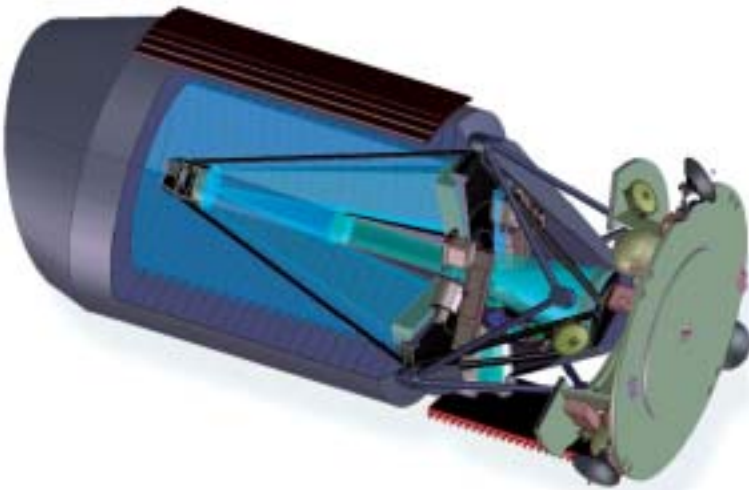
se expandindo e se imagina como era tempos atrás, como se um filme fosse passado ao contrário, chega-se à conclusão que seu volume é menor quanto mais voltamos no tempo. Através das equações é possível calcular há quanto tempo no passado todo o volume do Universo estava concentrado num volume insignificante, o “átomo primordial” de Lemaitre. A partir desse momento, estimado atualmente em aproximadamente 13,5 bilhões de anos atrás, teria começado a ocorrer o processo de expansão do espaço-tempo e da matéria-energia, gerando progressivamente o Universo hoje observado.

Esse início do processo expansivo é comumente denominado “Big Bang” e a teoria ou modelo que descreve as condições do Universo desde então é conhecida como Teoria do Big Bang ou Modelo do Big Bang. Foi desenvolvida principalmente por George Antonovich Gamow, físico

Estudos realizados na década de 1980 revelaram grande diferença nas velocidades de rotação entre o “disco” e o “halo” das galáxias espirais. Para explicar tal divergência supôs-se que o “halo” contivesse mais matéria do que a observada, que, por não emitir nenhum tipo de radiação eletromagnética, foi chamada “matéria escura”



Reprodução



Nos próximos dez anos deverá ser lançado o Snap (Supernova/Acceleration Probe), com o objetivo de confirmar e esclarecer melhor a questão da aceleração da expansão do Universo e a natureza da "energia escura". Com ele, espera-se obter dados de milhares de supernovas (estrelas que explodem) em galáxias muito distantes

russo-norte-americano (1904-1968). É comum se descrever, de forma errônea, esse início do processo de expansão, o "Big Bang" como uma "grande explosão". Ele foi introduzido ironicamente pelo astrônomo inglês Fred Hoyle (1915-2001) em uma de suas críticas aos modelos de universo em expansão feita em um programa de rádio da rede *BBC*, da Inglaterra. Ele próprio elaborou um modelo cosmológico conhecido como "modelo da criação contínua" no qual propunha um Universo em estado estacionário, em que a matéria estaria sendo criada continuamente, mas numa taxa não observável. Assim ele explicava como, num Universo estacionário, estático, a expansão ocorreria. Mas a idéia era (é) muito exótica (como outras do passado e atuais) e não encontrou muitos adeptos.

A expressão "Big Bang" gera a idéia errada de que houve de fato uma explosão. Uma explosão é algo que ocorre em um ponto no espaço – mas o "átomo primordial" era o próprio Universo naquele momento, cerca de 13,5 bilhões de anos atrás. Ou seja, a "explosão" ou "início do processo de expansão" na realidade teria ocorrido em todos os pontos do Universo, sem que nenhum fosse preferencial, sem um "centro" da "explosão".

Em 1965, Arno Allan Penzias (nascido em 1933), físico alemão, e Robert

Woodrow Wilson (nascido em 1936), físico norte-americano, detectaram sinais de radiação de microondas vindo uniforme e constantemente de qualquer direção para a qual fosse apontada a antena do radiotelescópio que utilizavam. Analisando as observações, concluíram que tinham detectado o "sinal" da grande explosão. Essa descoberta fez com que a Teoria do Big Bang ganhasse mais adeptos, pois ela previa essa distribuição de microondas no Universo.

Três modelos Na teoria gravitacional da Relatividade a geometria do espaço em qualquer ponto do Universo está diretamente relacionada com a intensidade do campo gravitacional naquele local. Quanto mais intenso for o campo gravitacional, mais forte será a curvatura correspondente. A curvatura ou geometria do Universo depende, por decorrência, da massa que ele contém, que determina sua "auto-gravidade". Isso, por sua vez, determina a intensidade da interação gravitacional ou a curvatura do "espaço-tempo". Diferentes modelos de Universo foram elaborados com base na Teoria da Relatividade Geral de Einstein. São considerados basicamente três modelos: o Universo Fechado, de curvatura positiva; o Universo Plano, de curvatura nula; e o Universo Aberto, de curvatura negativa.

Numa descrição simplificada do modelo de Universo Fechado, considera-se que o espaço-tempo que se expande é esférico, finito e ilimitado. Ele existiria somente por um período finito de tempo e corresponderia a uma bola em processo de expansão e posterior contração. Considerando-se a curvatura nula, teríamos o Universo Plano, no qual o espaço-tempo que se expande é plano, infinito e ilimitado. O Universo duraria um período infinito de tempo. Finalmente, no modelo de curvatura negativa, do Universo Aberto, o espaço-tempo que se expande é hiperbólico, infinito e ilimitado. A expansão é contínua por um período infinito de tempo.

Para decidir dentre essas hipóteses qual ocorrerá, é necessário conhecer qual é a densidade média do Universo, já que a massa do Universo é que determinará qual é sua curvatura. A questão de qual é o modelo mais adequado de Universo depende, portanto, da determinação de sua massa, o que por sua vez depende de poder constatar de alguma forma a quantidade de matéria nele existente. O valor da massa do Universo determinada a partir da matéria observável (que emite luz ou outras faixas de radiação eletromagnética) não é, entretanto, suficiente para explicar alguns fenômenos conhecidos. É o caso do estudo do movimento de rotação de galáxias espirais. Essas galáxias, como se supõe ocorra com a Via Láctea, em cujo interior nos encontramos, possuem um "disco galáctico" onde se concentra a maior parte de sua matéria detectável e um "halo galáctico" envolvendo o disco e, aparentemente com menos matéria visível.

Quando se realizaram, na década de 1980, medidas das velocidades de rotação dessas duas regiões das galáxias espirais notou-se uma grande diferen-

ça entre as curvas de velocidade do disco e do halo. Para explicar esse fato resolveu-se supor que o halo contivesse muito mais matéria do que se observava. Matéria essa que seria responsável por efeitos gravitacionais que gerariam velocidades diferentes daquelas calculadas a partir da massa da matéria visível, concentrada na forma de estrelas massivas de aglomerados globulares (agrupamentos de distribuição esférica contendo cada um milhões de estrelas). Apesar de interagir gravitacionalmente, essa matéria não emitiria luz, ou mais exatamente, nenhum tipo de radiação eletromagnética. Por isso resolveu-se denominá-la “matéria escura”, cuja existência já havia sido prevista pela primeira vez pelo astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898-1974) em 1937.

Note-se que a suposição da existência da “matéria escura”, de algo não detectável do ponto de vista de observação direta, decorreu da necessidade de se encontrar uma explicação plausível para as diferenças observadas nas curvas de velocidade de rotação de galáxias espirais e por não existirem outras explicações cientificamente adequadas para o mesmo fato. Ou seja, aceitou-se, ainda que provisoriamente, a existência de algo não observável diretamente, porque isso permitia uma “boa” explicação para o que se observa. No caso, a diferença de velocidade de rotação em regiões diferentes das galáxias espirais, incompatível com o previsto pela teoria utilizada.

A matéria escura não emite radiação eletromagnética e, portanto, somente podemos detectá-la através da força gravitacional que ela exerce sobre os objetos celestes. A tentativa de detecção da existência de matéria escura é efetuada através do estudo do movimento de estrelas individuais em galáxias e o movimento de galáxias em aglomerados de galáxias. Quando se aplica a lei da gravitação a esses movimentos, verifica-se que a massa é muito maior que a massa visível em estrelas e gases. Modelos teóricos e observações posteriores de estrelas e aglomerados de galáxias indicam que no Universo deveria existir uma grande quantidade dessa matéria, a fim de explicar outros fenômenos constatados.

Muito recentemente, em agosto des-

te ano, a agência espacial norte-americana, NASA, anunciou aquilo que talvez seja a primeira comprovação “direta” da existência da matéria escura. Com observações obtidas pelo Observatório Espacial de Raios-X Chandra e por outros telescópios, foi possível detectar a colisão entre dois enxames de galáxias de grandes dimensões. Considera-se este o evento cósmico mais energético já observado até agora. Mas, como sempre e ainda bem, há controvérsias. Apesar das consideráveis evidências já oferecidas em prol da existência da matéria escura, alguns cientistas começam a propor teorias alternativas para explicar os fenômenos conhecidos, como a existência dos “Weakly Interacting Massive Particles” – ou simplesmente, WIMPs.

A “energia escura” As WIMPs são novas partículas elementares sugeridas por um modelo que descreve as interações fortes, fracas e eletromagnéticas entre partículas elementares. Esse modelo, como outros, foi desenvolvido a partir das teorias de supercordas. Sua detecção seria muito difícil devido à sua fraca interação com a matéria ordinária. Mas mesmo com a aparente comprovação da existência de matéria escura, os cosmólogos não estão satisfeitos.

Observações de supernovas (estrelas que explodem) feitas a partir de 1995 em galáxias distantes, mostraram que a possível existência de matéria escura, além da matéria ordinária, não era suficiente para explicar o que se descobriu. Ao contrário do que se esperava, as observações indicaram que a expansão do Universo está se acelerando com o tempo. Elas foram inicialmente feitas por pesquisadores de dois projetos independentes: o Supernova Cosmology Project e o High-Redshift Supernova Team. Essa conclusão é apoiada pelas medidas recentes das flutuações de temperatura da radiação cósmica de fundo (RCF), através das quais se pode também concluir que a curvatura do espaço é aproximadamente zero (o que corresponde à concepção do Universo Plano). Verificou-se que a massa estimada do Universo, inclusive supondo a existência de matéria escura, é bastante menor do que

aquela que seria necessária para explicar um Universo plano e a aceleração da expansão.

Foi então necessário supor a existência de uma espécie de “interação anti-gravitacional” que “empurraria” o Universo na direção da expansão, acelerando-a. A essa causa da aceleração da expansão denominou-se “energia escura”. A energia escura não emitiria radiações eletromagnéticas (inclusive luz), seria aproximadamente homogênea e exerceria uma grande pressão negativa. Em 2004 pesquisadores da Universidade de Pittsburgh, na Pensilvânia (EUA), consideraram ter encontrado uma outra evidência observacional para a existência de energia escura. Comparando a distribuição espacial de milhares de galáxias detectadas pelo Sloan Digital Sky Survey, situado no Apache Point Observatory (Novo México, EUA) com as flutuações de temperatura medidas através do satélite WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), verificaram que a RCF é ligeiramente mais quente onde há maior concentração de galáxias, indicando a presença da energia escura.

Os resultados teórico-observacionais sugerem que cerca de 74% do Universo é constituído por energia escura e cerca de 26% por matéria, sendo que aproximadamente 22% é matéria escura e somente 4% matéria ordinária. Na tentativa de confirmar e esclarecer melhor a questão da aceleração da expansão do Universo e a natureza da energia escura, prevê-se o lançamento, por volta de 2013-2014, do SNAP (Supernovae/Acceleration Probe) que deverá, a cada ano, obter dados de milhares de supernovas em galáxias muito distantes. Uma outra idéia para tentar explicar a aceleração da expansão do Universo é postular um novo tipo de matéria, chamado “quintessência”. Sua densidade poderia diminuir vagarosamente, de modo a simular uma constante na época atual, e se anular num futuro distante.

Como se vê, voltamos ao “Universo Aristotélico”... ■

Romildo Póvoa Faria é professor de astronomia, astrônomo-planetarista e escritor. Atualmente trabalha na Pró-reitoria de Extensão e Assuntos Comunitários da Unicamp.