

**Secretaria de Estado de Educação do Estado do Pará**

# **SEDUC-PA**

Professor Classe I - Física

Edital Nº 01/2018 – SEAD, 19 de Março de 2018

**MR109-2018**



## DADOS DA OBRA

**Título da obra:** Secretaria de Estado de Educação do Estado do Pará - SEDUC-PA

**Cargo:** Professor Classe I - Física

(Baseado no Edital Nº 01/2018 – Sead, 19 de Março de 2018)

- Conhecimentos Específicos

### **Gestão de Conteúdos**

Emanuela Amaral de Souza

### **Autora**

Janaina Oliveira

### **Diagramação/ Editoração Eletrônica**

Elaine Cristina

Igor de Oliveira

Camila Lopes

Thais Regis

### **Produção Editorial**

Suelen Domenica Pereira

Julia Antoneli

### **Capa**

Joel Ferreira dos Santos



## SUMÁRIO

### Conhecimentos Específicos

História, filosofia da ciência e evolução das ideias da Física: Epistemologia; Cosmologia antiga; Física de Aristóteles; a Física medieval; as origens da mecânica e o mecanicismo; geocentrismo; Heliocentrismo; evolução do conceito de calor e da Termodinâmica; a teoria eletromagnética de Maxwell e o conceito de campo; impasses da física clássica; radioatividade e as origens da física moderna; a teoria da relatividade; a teoria quântica; Física da matéria atômica e nuclear. ....	01
Mecânica e Cinemática: Momento linear; centro de massa; leis de Newton; gravitação universal; leis de Kepler; trabalho; energia e potência; Torque e momento angular; princípios de conservação; movimento do corpo rígido; fluidos. ....	10
Termodinâmica: Calor e temperatura; transporte de calor; teoria cinética dos gases; leis da termodinâmica; energia interna; calor específico; processos adiabáticos; máquinas térmicas; ciclo de Carnot; entropia. ....	39
Eletromagnetismo: Campo elétrico; lei de Gauss; potencial elétrico; corrente elétrica e circuitos; campo magnético; Lei de Ampere; Lei de Faraday; propriedades elétricas e magnéticas dos materiais; equações de Maxwell; radiação. ....	52
Física ondulatória: oscilações livres, amortecidas e forçadas; ressonância; ondas sonoras e eletromagnéticas; ótica: reflexão, refração, polarização, dispersão, interferência e coerência, difração; instrumentos óticos. ....	80
Física moderna: relatividade especial e transformações de Lorentz; equivalência massa-energia; natureza ondulatória/corpuscular da matéria e da luz; teoria quântica; princípio da incerteza de Heisenberg; modelo do átomo de hidrogênio, núcleo atômico e forças nucleares, decaimento radioativo, energia nuclear, introdução à física de partículas, física contemporânea. ....	95



## CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS

### Professor Classe I - Física

**HISTÓRIA, FILOSOFIA DA CIÊNCIA E EVOLUÇÃO DAS IDEIAS DA FÍSICA; EPISTEMOLOGIA; COSMOLOGIA ANTIGA; FÍSICA DE ARISTÓTELES; A FÍSICA MEDIEVAL; AS ORIGENS DA MECÂNICA E O MECANICISMO; GEOCENTRISMO; HELIOCENTRISMO; EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE CALOR E DA TERMODINÂMICA; A TEORIA ELETROMAGNÉTICA DE MAXWELL E O CONCEITO DE CAMPO; IMPASSES DA FÍSICA CLÁSSICA; RADIOATIVIDADE E AS ORIGENS DA FÍSICA MODERNA; A TEORIA DA RELATIVIDADE; A TEORIA QUÂNTICA; FÍSICA DA MATÉRIA ATÔMICA E NUCLEAR.**

<sup>1</sup>A origem “das coisas” sempre foi uma preocupação central da humanidade; a origem das pedras, dos animais, das plantas, dos planetas, das estrelas e de nós mesmos. Mas a origem mais fundamental de todas parece ser a origem do universo como um todo – tudo o que existe. Sem esse, nenhum dos seres e objetos citados nem nós mesmos poderíamos existir.

Talvez por essa razão, a **existência do universo** como um todo, sua natureza e origem foram assuntos de explicação em quase todas as civilizações e culturas. De fato, cada civilização conhecida da antropologia teve uma cosmogonia – uma história de como o mundo começou e continua, de como os homens surgiram e do que os deuses esperam de nós. O entendimento do universo foi, para essas civilizações, algo muito distinto do que nos é ensinado hoje pela ciência. Mas a ausência de uma cosmologia para essas sociedades, uma explicação do mundo em que vivemos, seria tão inconcebível quanto a ausência da própria linguagem. Essas explicações, por falta de outras formas de entendimento da questão, sempre tiveram fundamentos religiosos, mitológicos ou filosóficos. Só recentemente a ciência pôde oferecer sua versão para os fatos. A razão principal para isso é que a própria ciência é recente. Como método científico experimental, podemos nos referir a Galileu Galilei (1564-1642, astrônomo, físico e matemático italiano) como um marco importante. Não obstante, já os gregos haviam desenvolvido métodos geométricos sofisticados e precisos para determinar órbitas e tamanhos de corpos celestes, bem como para previsão de eventos astronômicos. Não podemos nos esquecer de que egípcios e chineses, assim como incas, maias e astecas também sabiam interpretar os movimentos dos astros.

É surpreendente que possamos entender o universo físico de forma racional e que ele possa ser pesquisado pelos métodos da física e da astronomia desenvolvidos nos nossos laboratórios e observatórios. A percepção dessa dimensão e da capacidade científica nos foi revelada de forma mais plena nas décadas de 10, 20 e 30 do século XX. Mas a história da cosmologia (a estrutura do universo) e da cosmogonia (a origem do universo) não começou, nem parou aí.

1 Steiner, J. E. 2006. A origem do universo e do homem. Estudos avançados, v.20, n. 58.

#### <sup>2</sup>Cosmologias da Terra plana

Como era a cosmovisão, a forma do universo imaginada pelos antigos egípcios, gregos, chineses, árabes, incas, maias e tupi-guaranis, que não tinham acesso às informações da moderna astronomia? Para quase todas as civilizações, sempre foi necessário acomodar não só a face visível da Terra e do céu, mas também incluir, possivelmente no espaço, o mundo dos mortos, tanto os abençoados como os condenados, além dos reinos dos deuses e dos demônios. A experiência do cotidiano sugere que o mundo em que vivemos é plano; além disso, muitas cosmologias eram interpretações associadas ao ambiente físico ou cultural da civilização em questão. Por exemplo, para os egípcios, o universo era uma ilha plana cortada por um rio, sobre a qual estava suspensa uma abóbada sustentada por quatro colunas. Na Índia antiga, as várias cosmologias dos hindus, brâmanes, budistas etc. tinham em comum o pressuposto da doutrina da reencarnação e as configurações físicas deveriam acomodá-la, incluindo os diversos níveis de céus e infernos por ela demandada. Para os hindus – por exemplo – o universo era um ovo redondo coberto por sete cascas concêntricas feitas com distintos elementos. Já os babilônios imaginavam um universo em duas camadas conectadas por uma escada cósmica. A civilização maia era fortemente dependente do milho e das chuvas, muitas vezes escassas, que vinham do céu. Para eles, no começo havia apenas o céu, o mar e o criador; esse, após várias tentativas fracassadas, conseguiu construir pessoas a partir de milho e água.

No antigo testamento judaico-cristão, a Terra era relatada em conexão ao misterioso firmamento, às águas acima do firmamento, às fontes do abismo, ao limbo e à casa dos ventos. O livro do Gênesis narra, também, que o universo teve um começo: “No princípio Deus criou os céus e a Terra. A Terra, porém, estava informe e vazia; as trevas cobriam o abismo e o Espírito de Deus pairava sobre as águas. Deus disse: ‘Faça-se a luz’. E a luz foi feita. Deus viu que a luz era boa, e separou a luz das trevas. Deus chamou à luz DIA, e às trevas NOITE. Houve uma tarde e uma manhã: foi o primeiro dia”.

#### Modelos geocêntricos

Há cerca de 2.400 anos, os gregos já haviam desenvolvido sofisticados métodos geométricos e o pensamento filosófico. Não foi, pois, por acaso que eles propuseram uma cosmologia mais sofisticada do que a ideia do universo plano. Um universo esférico, a Terra, circundado por objetos celestes que descreviam órbitas geométricas e previsíveis e também pelas estrelas fixas. Uma versão do modelo geocêntrico parece ter sido proposta inicialmente por Eudoxus de Cnidos (c.400-c.350 a.C., matemático e astrônomo grego, nascido na atual Turquia) e sofreu diversos aperfeiçoamentos. Um deles foi proposto por Aristóteles (384-322 a.C.), que demonstrou que a Terra é esférica; ele chegou a essa conclusão a partir

2 Damineli, A. *Hubble: a expansão do universo*. São Paulo: Odysseus, 2003.

## CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS

### Professor Classe I - Física

da observação da sombra projetada durante um eclipse lunar. Ele calculou, também, o seu tamanho – cerca de 50% maior do que o valor correto. O modelo geocêntrico de Aristóteles era composto por 49 esferas concêntricas que procuravam explicar os movimentos de todos os corpos celestes. A esfera mais externa era a das estrelas fixas e que controlava todas as esferas internas. Essa, por sua vez, era controlada por uma agência (entidade) sobrenatural.

Esse modelo geocêntrico grego teve outros aperfeiçoamentos. Erastóstenes (c.276-c.194 a.C., escritor grego, nascido na atual Líbia) mediu a circunferência da Terra por método experimental, obtendo um valor cerca de 15% maior do que o valor real. Já Ptolomeu (Claudius Ptolomeus, segundo século a.C., astrônomo e geógrafo egípcio) modificou o modelo de Aristóteles, introduzindo os epiciclos, isto é, um modelo no qual os planetas descrevem movimentos de pequenos círculos que se movem sobre círculos maiores, esses centrados na Terra.

#### A teoria heliocêntrica

A ideia de que o Sol está no centro do universo e de que a Terra gira em torno dele, conhecida como a teoria heliocêntrica, já havia sido proposta por Aristarco de Samos (c.320 – c.250 a.C., matemático e astrônomo grego); ele propôs essa teoria com base nas estimativas dos tamanhos e distâncias do Sol e da Lua. Concluiu que a Terra gira em torno do Sol e que as estrelas formariam uma esfera fixa, muito distante. Essa teoria atraiu pouca atenção, principalmente porque contradizia a teoria geocêntrica de Aristóteles, então com muito prestígio e, também, porque a ideia de que a Terra está em movimento não era muito atraente.

Cerca de dois mil anos mais tarde, Copérnico (Nicolaus Copernicus, 1473-1543, astrônomo polonês) descreveu o seu modelo heliocêntrico, em 1510, na obra *Commentariolus*, que circulou anonimamente; Copérnico parece ter previsto o impacto que sua teoria provocaria, tanto assim que só permitiu que a obra fosse publicada após a sua morte. A teoria foi publicada abertamente em 1543 no livro *De Revolutionibus Orbium Coelestium* e dedicada ao papa Paulo III.

O modelo heliocêntrico provocou uma revolução não somente na astronomia, mas também um impacto cultural com reflexos filosóficos e religiosos. O modelo aristotélico havia sido incorporado de tal forma no pensamento, que tirar o homem do centro do universo acabou se revelando uma experiência traumática.

Por fim, o modelo heliocêntrico de Copérnico afirmou-se como o correto. Mas por que o modelo de Aristarco de Samos não sobreviveu, cerca de 2.000 anos antes, se afinal também estava certo? Basicamente porque, para fins práticos, não fazia muita diferença quando comparado com o modelo geocêntrico. As medidas não eram muito precisas e tanto uma teoria quanto a outra davam respostas satisfatórias. Nesse caso, o modelo geocêntrico parecia mais de acordo com a prática do dia-a-dia; além disso, era um modelo homocêntrico, o que estava em acordo com o demandado por escolas filosóficas e teológicas.

Após a publicação da teoria de Copérnico, no entanto, alguns avanços técnicos e científicos fizeram que ela se tornasse claramente superior ao sistema de Ptolomeu. Tycho Brahe (1546-1601, astrônomo dinamarquês) teve um papel importante ao avançar as técnicas de fazer medidas precisas com instrumentos a olho nu, pois lunetas e telescópios ainda não haviam sido inventados. Essas medidas eram cerca de dez vezes mais precisas do que as medidas anteriores. Em 1597 ele se mudou para Praga, onde contratou, em 1600, Johannes Kepler (1571-1630, matemático e astrônomo alemão) como seu assistente. Mais tarde, Kepler usou as medidas de Tycho para estabelecer suas leis de movimento dos planetas. Essas leis mostravam que as órbitas que os planetas descrevem são elipses, tendo o Sol em um dos focos. Com isso, cálculos teóricos e medidas passaram a ter uma concordância muito maior do que no sistema antigo. Se não por outro motivo, essa precisão e a economia que ela propiciava seriam tão importantes para as grandes navegações que ela se imporia por razões práticas.

Galileu, ao desenvolver a luneta, criou um instrumento vital para a pesquisa astronômica, pois amplia, de forma extraordinária, a capacidade do olho humano. Apontando para o Sol, descobriu as manchas solares; apontando para Júpiter, descobriu as quatro primeiras luas; e ao olhar para a Via-Láctea, mostrou que ela é composta por miríades de estrelas.

#### **A descoberta da galáxia**

Foi exatamente com o desenvolvimento de técnicas ópticas, mecânicas e fotográficas que se passou a determinar a distância das estrelas mais próximas, e com isso a ideia de esfera das estrelas fixas foi superada. Com a medida das distâncias das estrelas – extraordinariamente grandes –, estabeleceu-se a interpretação de que o Sol e as estrelas são objetos da mesma natureza. Portanto, cada estrela poderia ter, em princípio, o “direito” de hospedar um sistema planetário.

Uma das primeiras concepções consistentes sobre a natureza da galáxia – e surpreendentemente correta – foi feita por Kant (Immanuel Kant, 1724-1804, filósofo alemão) que, aos 26 anos e muito antes de se tornar a grande referência em filosofia, tomou contato com os pensamentos de Newton e desenvolveu a ideia de que o sistema solar teria se originado a partir da condensação de um disco de gás. Concebeu, também, a ideia de que o sistema solar faz parte de uma estrutura achatada, maior, à qual hoje chamamos de galáxia, e de que muitas das nebulosas então observadas como manchas difusas são sistemas semelhantes, às quais ele denominou universos-ilhas.

Os avanços observacionais mais importantes que levaram à compreensão detalhada da distribuição das estrelas no céu foram feitos por Wilhelm Herschel (1738-1822, astrônomo e músico inglês, nascido na Alemanha), primeiro construtor de grandes telescópios com os quais podia detalhar os objetos fracos com maior precisão.

## CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS

### Professor Classe I - Física

Estrelas se distribuem no espaço tanto de forma dispersa quanto, também, em grupos, chamados de aglomerados de estrelas. No estudo de tais aglomerados, percebeu-se que eles não se distribuem ao acaso no espaço, mas definem uma configuração à qual chamamos de galáxia, visível a olho nu, como a Via-Láctea.

O Sol, a estrela mais próxima de nós, está a 159 milhões de quilômetros. É mais fácil dizer que ele está a oito minutos-luz. Afinal, a luz leva oito minutos para chegar do Astro-rei até a Terra. O mapa feito com os aglomerados globulares de estrelas mostrou que a galáxia tem um diâmetro de aproximadamente 90 mil anos-luz e é composta de 100 bilhões de estrelas, todas girando em torno de um núcleo comum, que dista cerca de 25 mil anos-luz do Sol. Logo se percebeu que existe um grande número de formações semelhantes no universo. São as Nebulae, que hoje chamamos, genericamente, de galáxias.

Quando observamos a estrela mais próxima do sistema solar, Alfa de Centauro, estamos enxergando o passado. Ela se encontra a 4,3 anos-luz de distância. Quer dizer que a luz que agora observamos foi emitida 4,3 anos atrás e viajou todo esse tempo para chegar até aqui. Estamos, de fato, observando o passado. Quando olhamos para a nossa vizinha galáxia de Andrômeda, vemos como ela era 2,4 milhões de anos atrás. Muitas estrelas que estamos vendo hoje já deixaram de existir há muito tempo.

Outra pergunta que naturalmente se faz é: o que foi o instante zero e o que havia antes? A teoria da relatividade prevê que no instante zero a densidade teria sido infinita. Para tratar essa situação, é necessária uma teoria de gravitação quântica, que ainda não existe, e, portanto, essa questão não é passível de tratamento científico até este momento. Entender essa fase da história do universo é um dos maiores problemas não-resolvidos da física contemporânea.

A Física é a ciência das propriedades da matéria e das forças naturais. Suas formulações são em geral compactantes expressas em linguagem matemática.

A introdução da investigação experimental e a aplicação do método matemático contribuíram para a distinção entre Física, filosofia e religião, que, originalmente, tinham como objetivo comum compreender a origem e a constituição do Universo.

A Física estuda a matéria nos níveis molecular, atômico, nuclear e subnuclear. Estuda os níveis de organização ou seja os estados sólido, líquido, gasoso e plasmático da matéria. Pesquisa também as quatro forças fundamentais: a da gravidade (força de atração exercida por todas as partículas do Universo), a eletromagnética (que liga os elétrons aos núcleos), a interação forte (que mantém a coesão do núcleo e a interação fraca (responsável pela desintegração de certas partículas - a da radiatividade).

Física teórica e experimental - A Física experimental investiga as propriedades da matéria e de suas transformações, por meio de transformações e medidas, geralmente realizada em condições laboratoriais universalmente repetíveis. A Física teórica sistematiza os resultados experimentais, estabelece relações entre conceitos e grandezas físicas e permite prever fenômenos inéditos.

#### Atomistas Gregos

A primeira teoria atômica começa na Grécia, no século V a.C. Leucipo, de Mileto, e seu aluno Demócrito, de Abdera (460 a.C. - 370 a.C.), formulam as primeiras hipóteses sobre os componentes essenciais da matéria. Segundo eles, o Universo é formado de átomos e vácuo. Os átomos são infinitos e não podem ser cortados ou divididos. São sólidos mas de tamanho tão reduzido que não podem ser vistos. Estão sempre se movimentando no vácuo.

#### Física Aristotélica

É com Aristóteles que a Física e as demais ciências ganham o maior impulso na Antiguidade. Suas principais contribuições para a Física são as idéias sobre o movimento, queda de corpos pesados (chamados "graves", daí a origem da palavra "gravidade") e o geocentrismo. A lógica aristotélica irá dominar os estudos da Física até o final da Idade Média.

Aristóteles - (384 a.C. - 322 a.C.) Nasce em Estagira, antiga Macedônia (hoje, Província da Grécia). Aos 17 anos muda-se para Atenas e passa a estudar na Academia de Platão, onde fica por 20 anos. Em 343 a.C. torna-se tutor de Alexandre, o grande, na Macedônia. Quando Alexandre assume o trono, em 335 a.C., volta a Atenas e começa a organizar sua própria escola, localizada em um bosque dedicado a Apolo Liceu - por isso, chamada de Liceu. Até hoje, se conhece apenas um trabalho original de Aristóteles (sobre a Constituição de Atenas). Mas as obras divulgadas por meio de discípulos tratam de praticamente todas as áreas do conhecimento: lógica, ética, política, teologia, metafísica, poética, retórica, Física, psicologia, antropologia, biologia. Seus estudos mais importantes foram reunidos no livro Órganon.

Geocentrismo - Aristóteles descreve o cosmo como um enorme (porém finito) círculo onde existem nove esferas concêntricas girando em torno da Terra, que se mantêm imóvel no centro delas.

Gravidade - Aristóteles considera que os corpos caem para chegar ao seu lugar natural. Na antiguidade, consideravam-se elementos primários a terra, a água, ar e fogo. Quanto mais pesado um corpo (mais terra) mais rápido cai no chão. A água se espalha pelo chão porque seu lugar natural é a superfície da Terra. O lugar natural do ar é uma espécie de capa em torno da Terra. O fogo fica em uma esfera acima de nossas cabeças e por isso as chamas queimam para cima.

#### Primórdios da Hidrostática

A hidrostática, estudo do equilíbrio dos líquidos, é inaugurada por Arquimedes. Diz a lenda que Hierão, rei de Siracusa, desafia Arquimedes a encontrar uma maneira de verificar sem danificar o objeto, se era de ouro maciço uma coroa que havia encomendado. Arquimedes soluciona o problema durante o banho. Percebe que a quantidade de água deslocada quando entra na banheira é igual ao volume de seu corpo. Ao descobrir esta relação sai gritando pelas ruas

## CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS

### Professor Classe I - Física

"Eureka, eureka!" (Achei, achei!). No palácio, mede então a quantidade de água que transborda de um recipiente cheio quando nele mergulha sucessivamente o volume de um peso de ouro igual ao da coroa, o volume de um peso de prata igual ao da coroa e a própria coroa. Este, sendo intermediário aos outros dois, permite determinar a proporção de prata que fora misturada ao ouro.

**Princípio de Arquimedes** - A partir dessas experiências Arquimedes formula o princípio que leva o seu nome: todo corpo mergulhado em um fluido recebe um impulso de baixo para cima (empuxo) igual ao peso do volume do fluido deslocado. Por isso os corpos mais densos do que a água afundam e os mais leves flutuam. Um navio, por exemplo, recebe um empuxo igual ao peso do volume de água que ele desloca. Se o empuxo é superior ao peso do navio ele flutua.

Arquimedes - (287 a.C. - 212 a.C.) - nasce em Siracusa, na Sicília. Frequenta a Biblioteca de Alexandria e lá começa seus estudos de matemática. Torna-se conhecido pelos estudos de hidrostática e por suas invenções, como o parafuso sem ponta para elevar água. Também ganha fama ao salvar Siracusa do ataque dos romanos com engenhosos artefatos bélicos. Constrói um espelho gigante que refletia os raios solares e queimava a distância os navios inimigos. É também atribuído a Arquimedes o princípio da alavanca. Com base neste princípio, foram construídas catapultas que também ajudaram a resistir aos romanos. Depois de mais de três anos, a cidade é invadida e Arquimedes é assassinado por um soldado romano.

#### A teoria do Big Bang

Na década de 1920, o astrônomo americano Edwin Hubble procurou estabelecer uma relação entre a distância de uma galáxia e a velocidade com que ela se aproxima e se afasta de nós. A velocidade da galáxia se mede com relativa facilidade, mas a distância requer uma série de trabalhos encadeados e, por isso, é trabalhoso e relativamente impreciso. Após muito trabalho, ele descobriu uma correlação entre a distância e a velocidade das galáxias que ele estava estudando. Quanto maior a distância, com mais velocidade ela se afasta de nós. É a chamada Lei de Hubble. Portanto, as galáxias próximas se afastam lentamente e as galáxias distantes se afastam rapidamente? Como explicar essa lei?

Num primeiro momento, poderíamos pensar que, afinal, estamos no centro do universo, um lugar privilegiado. Todas as galáxias sabem que estamos aqui e por alguma razão fogem de nós. Essa explicação parece pouco copernicana. A essa altura dos acontecimentos, ninguém mais acreditava na centralidade cósmica do homem. Precisamos achar, então, outra explicação.

A outra explicação pode ser facilmente entendida se fizermos uma analogia bidimensional do universo. Costumamos dizer que vivemos num universo de três dimensões espaciais: podemos andar para a frente, para os lados e pular para cima. Além disso, existe a dimensão do tempo. Essas quatro dimensões compõem o espaço-tempo do universo em que vivemos. Poderíamos imaginar outros universos. Do ponto de vista matemático, podemos imaginar, por exemplo, universos bidimensionais. A superfície de uma

bola é uma entidade de duas dimensões, assim como o é a superfície de uma mesa. Poderíamos, agora, imaginar a superfície de uma bexiga de aniversário como um universo bidimensional. Sobre a sua superfície poderíamos desenhar galáxias bidimensionais, povoadas por formigas também de duas dimensões. Algumas dessas formigas poderiam ser astrônomas cuja tarefa seria observar outras galáxias, medir suas distâncias e velocidades.

Imaginemos, agora, que alguém sopra na bexiga de tal forma que ela se expanda. O que a formiga-astrônoma vai observar? Que as galáxias próximas se afastam lentamente ao passo que as galáxias distantes se afastam rapidamente do observador. Isto é, a formiga descobriu a Lei de Hubble. Se, por hipótese, em vez de uma bexiga em expansão, ela estivesse se esvaziando, em contração, a formiga verificaria que todas as galáxias se aproximam uma das outras; um efeito contrário ao da Lei de Hubble. Portanto, essa lei mostra que nosso universo está em expansão! Isto é, no futuro ele será maior e no passado foi menor do que ele é hoje. Quanto mais no passado, menor. Até que poderíamos imaginar a bexiga tão pequena que se reduziria a um ponto. A esse ponto inicial, a ideia de que o universo surgiu de uma explosão no passado, chamamos de Big Bang. Desde então, ele está se expandindo, até hoje, e a lei de Hubble é a confirmação disso. Há quanto tempo teria acontecido isso? As indicações mais recentes são de que o Big Bang ocorreu há  $13,7 (\pm 0,2)$  bilhões de anos.

De fato, trabalhos teóricos do abade belga Georges Lemaître, de 1927, mostraram que a Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein é compatível com a recessão das Nebulae (como eram então chamadas as galáxias) e ele foi o primeiro a propor que o universo teria surgido de uma explosão, de um "átomo primordial".

Uma pergunta imediata que poderia nos ocorrer é: para que direção do espaço devemos olhar para enxergarmos onde essa explosão ocorreu? Se o universo está se expandindo, dentro de onde? Ora, no modelo de bexiga – universo de duas dimensões – o Big Bang ocorreu no centro da bexiga, não na sua superfície. O espaço é a superfície. O interior é o passado, e o exterior, o futuro. O centro, a origem do tempo. Portanto, a explosão não ocorreu no espaço, mas no início do tempo, e o próprio espaço surgiu nessa singularidade temporal. Esse exemplo simples nos mostra como o modelo bidimensional pode nos ilustrar, de forma intuitiva, porém confiável, questões fundamentais de cosmologia; agregar uma terceira dimensão é apenas uma questão de habilidade matemática!

Podemos, agora, voltar à reflexão de que olhar para longe é ver o passado. Seria possível observar o universo evoluir? Essa ideia parece interessante; quanto mais longe olhamos, mais vemos um universo mais jovem. Poderíamos, então, observar a época em que as galáxias nasceram? Sim, basta que tenhamos tecnologia para isso. Basta que tenhamos instrumentos que nos permitam observar o universo a 12 bilhões de anos-luz de distância. Essa tecnologia já é disponível com os novos e grandes telescópios. Com isso é possível observar quando, como e por que as galáxias nasceram – essa é uma das áreas mais palpitantes da ciência contemporânea.