



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**A LEI DE HUBBLE NO ENSINO MÉDIO:
UMA SUGESTÃO DE ABORDAGEM PARA DISCUTIR
A TEORIA DO BIG BANG**

Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:
Marta Feijó Barroso
Ioav Waga

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2016

A LEI DE HUBBLE NO ENSINO MÉDIO:
UMA SUGESTÃO DE ABORDAGEM PARA DISCUTIR
A TEORIA DO BIG BANG

Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte

Orientadores:
Marta Feijó Barroso
Ioav Waga

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dra. Marta Feijó Barroso (Presidente)

Dr. Carlos Augusto Domingues Zarro

Dr. Ioav Waga

Dr. Marcelo Shoey de Oliveira Massunaga

Dr. Maurício Ortiz Calvão

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

D812l Duarte, Lucas Porto Alegre de Almeida
A Lei de Hubble no ensino médio: uma sugestão de
abordagem para discutir a teoria do big bang / Lucas Porto Alegre de
Almeida Duarte - Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2016.
viii, 77 f..187
Orientadora: Marta Feijó Barroso
Coorientador: loav Waga
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física /
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2016.
Referências Bibliográficas: f.184-187.
1. Ensino de Física. 2. Cosmologia. 3. Lei de Hubble. 4.
Ensino médio. I. Barroso, Marta Feijó, orient. II. Waga, loav, coorient.
III. A Lei de Hubble no ensino médio: uma sugestão de abordagem
para discutir a teoria do big bang.

Dedico esta dissertação à minha amada esposa, Camila Duarte, por todo amor e carinho e por todo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Dedico também à minha família, minha irmã Suel, minha mãe Sueli e meu pai, Wanderley, por sempre acreditarem em mim, pelo apoio ao longo do projeto e de toda minha vida, e por serem a melhor família que eu poderia desejar.

Agradecimentos

À minha orientadora Marta Feijó Barroso, obrigado pela paciência, pelo incentivo e pela oportunidade de aprender com você enquanto seu orientando e como seu aluno de graduação e pós graduação. Obrigado por seu exemplo de dedicação ao trabalho.

Ao meu co-orientador loav Waga, pelas dicas, sugestões e correções deste trabalho, por suas sugestões de leitura e pelo seu tempo e paciência em tirar minhas quase infundáveis dúvidas.

À minha família. Minha amada esposa Camila, que me apoia em todos os dias de nossas vidas, me ensina com seu exemplo a ser uma pessoa cada vez melhor e por todo amor que ela me dedicou nesses sete anos que estamos juntos. Espero que eu possa retribuir à altura. Agradeço também pela ajuda e apoio na elaboração deste trabalho. Aos meus pais, Wanderley e Sueli, pela excelente (e extremamente equilibrada) criação que me deram. À minha irmã, por ser minha amiga, por me ensinar, me ajudar e também por me perturbar em todos esses anos (além das dicas de português nos meus textos).

A Daniele e Gustavo, meus queridos amigos, pelas leituras e sugestões dos produtos desta dissertação.

Aos meus colegas de mestrado pelos dias de estudo e descontração ao longo desses dois anos e meio de curso. Em especial aos meus colegas Paulo e Rodrigo por me ajudarem a testar o jogo avaliativo e por suas sugestões, além das minhas ex-colegas de graduação Bruna, Elizabeth e Gláucia e a meu amigo Pedro por suas sugestões no texto.

Aos meus amigos Brown, José e Pablo pela camaradagem em todos esses anos e pelos diversos testes dos jogos durante os anos do mestrado.

RESUMO

A LEI DE HUBBLE NO ENSINO MÉDIO: UMA SUGESTÃO DE ABORDAGEM PARA DISCUTIR A TEORIA DO BIG BANG

Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte

Orientadores:
Marta Feijó Barroso
Ioav Waga

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Nas últimas décadas no país, o esforço de diversos professores e pesquisadores de ensino abriu caminho para uma crescente reflexão sobre os objetivos de formação da educação básica, repensando-o como tendo uma finalidade em si mesmo, não constituindo-se apenas em uma etapa anterior ao ingresso no nível superior. Esses objetivos buscavam uma formação mais geral, de cidadãos críticos, informados, participativos e reflexivos, englobando tanto os alunos que pretendiam ingressar no próximo nível de ensino quanto os que encerrariam no nível médio a sua vida acadêmica. A inclusão de temas de Física Moderna e Contemporânea, a Física desenvolvida no século XX, passou a ser objeto de discussões e propostas de aplicação em sala de aula. Neste trabalho, propõe-se uma sugestão de abordagem para a apresentação da Teoria do Big Bang no ensino médio mediante o estudo da Lei de Hubble. Esta sugestão foi implementada na forma de elaboração de materiais didáticos de auxílio ao professor e também de materiais que podem ser utilizados diretamente com os alunos. O fio condutor da elaboração dos materiais foi a pergunta “como sabemos o que sabemos?”.

Palavras-chave: Ensino de Física, Cosmologia, Lei de Hubble, Ensino Médio

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2016

ABSTRACT

HUBBLE'S LAW: PRESENTING IT IN HIGH SCHOOL IN ORDER TO DISCUSS THE BIG BANG THEORY

Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte

Supervisors:
Marta Feijó Barroso
Ioav Waga

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

Over the last decades in Brazil, the effort of many teachers and educational researchers opened the way for a growing reflection on the educational objectives of basic education, rethinking it as having a purpose in itself, and not being only a step towards college. These objectives sought to achieve a general basic formation, preparing critical, informed, participant and reflective citizens, encompassing both students who intend to enter the next level of education and those who end their academic life at high school. The inclusion of physics themes developed in the twentieth century, usually named Modern and Contemporary Physics themes, became subject of discussions and implementation of proposals in classroom. In this paper, we propose an approach for the introduction of the Big Bang theory in high school by studying the Hubble Law. This approach was implemented in the form of learning resources for teachers and resources to be used directly by students. The question "how do we know what we know?" guided the resources elaboration.

Keywords: Physics education, Cosmology, Hubble's Law, High School

Rio de Janeiro
February 2016

Sumário

Capítulo 1	Introdução	1
Capítulo 2	O Ensino de Física no Nível Médio	3
	2.1. Um Breve Olhar sobre o Ensino de Física Nacional	3
	2.2. O Interesse em Física Moderna e Contemporânea	6
	2.3. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio	10
	2.4. Universo, Terra e Vida	16
	2.5. A Teoria do Big Bang no Ensino Médio	18
	2.6. A mudança da abordagem: o exemplo da Teoria do Big Bang	19
	2.7. Conclusão	23
Capítulo 3	O Desenvolvimento dos Materiais	25
	3.1. Uma Sugestão de Abordagem: a Lei de Hubble	27
	3.2. Um Plano de Ensino...	29
	3.3. Breve Descrição das Aulas	31
	3.4. Um Jogo	34
	3.5. Conclusão	36
Capítulo 4	Lei de Hubble	37
	4.1. O Contexto do Surgimento da Lei de Hubble	37
	4.2. Hubble e a “Descoberta” das Galáxias	41
	4.3. A Lei de Hubble	44
	4.4. A Lei de Hubble e a Expansão do Universo	52
	4.5. Conclusão	54
Capítulo 5	Considerações finais	55
Referências		57
Apêndice A	A Lei de Hubble	A1
Apêndice B	Introdução à Astronomia	B1
Apêndice C	Plano de Ensino	C1
Apêndice D	Jogo	D1

Capítulo 1. Introdução

Por muito tempo no Brasil, o ensino de Física no nível médio parecia ter como meta unicamente aprovar os estudantes nos exames vestibulares. Nas últimas décadas, o esforço de diversos professores e pesquisadores em ensino abriu caminho para uma crescente reflexão sobre os objetivos de formação neste nível. O ensino médio passa a ser visto como possuindo uma finalidade em si mesmo, e não apenas constituindo-se em uma etapa preparatória ao ingresso no nível superior. Os seus objetivos buscam uma formação mais geral, de cidadãos críticos, informados, participativos e reflexivos, englobando tanto os alunos que pretendem ingressar no próximo nível de ensino quanto os que encerrarão no nível médio a sua vida acadêmica.

Nesta reflexão, cogitou-se, por exemplo, na inclusão de temas não estudados anteriormente. Com a aspiração de formar um cidadão que compreenda o mundo à sua volta, não é mais possível ignorar todo o conhecimento desenvolvido no século XX, tendo-se, de forma gradativa, dado maior enfoque em temas mais atuais. O presente trabalho tem como foco o estudo de um desses temas no nível médio: o Big Bang.

Além de discutir a importância de inserir esses temas na educação básica, este trabalho pretende situá-los frente às pesquisas sobre como hoje a ciência entende a formação do universo e no cenário da pesquisa em ensino de Física. Por fim, tem-se a intenção de propor uma sugestão de abordagem para se discutir a denominada Teoria do Big Bang no nível médio mediante o estudo da Lei de Hubble. Esta sugestão foi implementada na forma de elaboração de materiais didáticos de auxílio ao professor e também de materiais que podem ser utilizados diretamente com os alunos. Buscou-se nestes materiais a apresentação de discussões que permitissem aos alunos a compreensão do que é a ciência, do seu papel e sua importância em nossa sociedade. Que eles, ainda que não “façam ciência”, a reconheçam como uma construção humana que evolui gradualmente através de testes e comprovações que levam os cientistas a propor e/ou modificar os modelos científicos que têm a intenção de explicar o mundo à

nossa volta. Em suma, o fio condutor da elaboração dos materiais foi a pergunta “como sabemos o que sabemos?”.

No capítulo 2, após discutir brevemente algumas dificuldades referentes ao ensino de Física no nível médio em nosso país, buscou-se contextualizar a modernização dos objetivos de formação e do estudo dos temas mais atuais neste nível de ensino. Observou-se ao longo do estudo referente a este trabalho uma carência de materiais didáticos sobre alguns dos temas sugeridos pelas prescrições curriculares nacionais como objetos de estudo para o nível médio. Buscou-se com isso, justificar este trabalho e situá-lo no cenário atual.

No capítulo 3, além da descrição dos materiais produzidos, é apresentada a forma de sua elaboração. São citados também os autores e metodologias que fundamentaram a proposta da produção dos materiais e é exposto um dos testes feitos com o objetivo de se alcançar um retorno do produto do trabalho e as principais consequências destes testes.

No capítulo 4 procurou-se apresentar, em caráter simplificado, a discussão da Lei de Hubble, foco da abordagem proposta neste trabalho para se discutir a Teoria do Big Bang. Após contextualizar a proposta da referida lei, foi discutido o procedimento experimental usado por Hubble para aferir as medidas de seu trabalho, e foram analisadas algumas de suas consequências. Procurou-se desta forma fundamentar a escolha deste tópico para abordar a Teoria do Big Bang.

No capítulo 5 são feitas as considerações finais e nos apêndices se encontram os materiais que são o produto desta dissertação. Esses apêndices são quatro: um texto sobre a Lei de Hubble para professores (Apêndice A), um texto introdutório sobre Astronomia para professores e alunos (Apêndice B), um plano de ensino sugerido para utilização dos textos no ensino médio e um exemplo de conjunto de transparências que podem ser utilizadas com este plano de ensino (Apêndice C) e uma proposta de atividade avaliativa no formato de um jogo (Apêndice D).

Capítulo 2. O Ensino de Física no Nível Médio

A docência no Brasil é uma tarefa, no mínimo, desafiadora. As dificuldades para o processo de ensino e aprendizagem são fortemente influenciadas pela falta de condições de trabalho dos professores. Dois aspectos estão mais diretamente relacionados ao ensino de Física na educação básica: a dificuldade de se ensinar uma disciplina com um histórico de grande desinteresse e alto nível de dificuldade para os alunos, e o desafio de fazê-lo em um novo cenário, no qual o enfoque do ensino propõe-se a ser modificado, com novos conteúdos e novas abordagens. A discussão desses dois pontos é feita ao longo deste capítulo, e dá origem a este trabalho.

2.1 – Um Breve Olhar sobre o Ensino de Física

Uma parte importante do processo de ensinar (e educar) consiste em avaliar, ou encontrar maneiras de perceber se, acoplado ao processo de ensino, ocorreu um processo de aprendizagem pelo estudante. Quando se deseja verificar o quão efetivo está sendo um ciclo de estudos, cabe ao professor escolher uma ou mais ferramentas avaliativas para obter esta informação. Os instrumentos avaliativos podem possuir diferentes naturezas, dependendo de seu objetivo, seja para descobrir o que o público alvo da avaliação sabe previamente (avaliação diagnóstica), para sondar o quanto eles estão aprendendo durante o processo de ensino (avaliação formativa) ou determinar se os objetivos deste processo foram alcançados ao final deste ciclo (avaliação somativa). Quaisquer que sejam a natureza e o instrumento, a avaliação norteia o trabalho do professor durante todo o processo de ensino-aprendizagem.

Quando o interesse é por um diagnóstico de sistema educacional, são utilizadas avaliações somativas, e muitas vezes avaliações em larga escala. Há diversas avaliações sendo feitas no Brasil, tanto nacionais (o SAEB – Sistema de Avaliação da Educação Básica, o ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio, do INEP, e outros), regionais (o SAERJ – Sistema de Avaliação da Educação do Estado do Rio de Janeiro, e seus

similares em outros estados e municípios) e comparativas internacionais (o Pisa, Programme for International Student Assessment, da OCDE, e outras).

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) é uma avaliação em larga escala criada em 1998 e modificada em 2009, data na qual ele também passou a ser usado como principal forma de ingresso para a maioria das universidades públicas brasileiras, além de (desde 2005) ser critério para o financiamento do ensino superior privado através do programa “Universidade para Todos” (PROUNI). Com essas modificações, o exame passou a contar com um número cada vez maior de participantes, tendo, em 2012, mais de 1,2 milhão de participantes que se declararam concluintes do ensino médio no ano de aplicação da prova [Barroso, Rubini e Massunaga 2015]. Este número significativo de estudantes faz do ENEM uma valiosa fonte de informações sobre a aprendizagem dos alunos no sistema de ensino brasileiro.

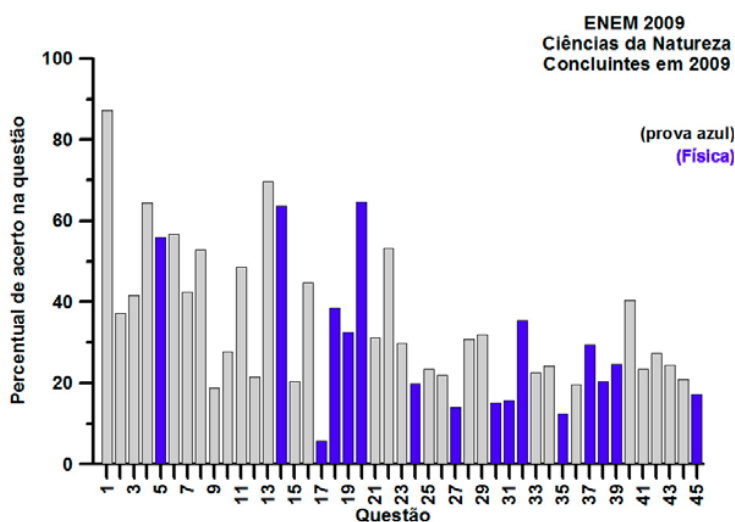


Figura 2.1: Percentual de acertos dos concluintes (em 2009) do ensino médio nas questões de Ciências da Natureza do ENEM 2009

Este exame vem sendo objeto de estudo de diversos pesquisadores. Como exemplo, apresentamos na figura 2.1 o índice de acertos das questões de Ciências da Natureza do ENEM 2009 [Gonçalves Jr e Barroso 2012]. Estão destacadas as questões de Física. A separação disciplinar da prova de Ciências da Natureza (Física, Química e Biologia) foi feita segundo o critério: é considerada uma questão de Física aquela, para a escolha da alternativa correta, é exigido algum conhecimento de Física. Tal critério foi

necessário, visto que o ENEM não mais discrimina suas questões pelas disciplinas específicas, mas sim por áreas de conhecimento.

A figura revela que as seis questões com os menores índices de acerto, abaixo de 20%, são todas de Física (17, 27, 30, 31, 35 e 45). Neste trabalho [Gonçalves Jr e Barroso 2012] também são apresentadas outras análises relativas aos resultados do ENEM, em particular comparando os percentuais de acerto para a rede (federal, estadual, municipal ou privada) à qual pertence a escola na qual os candidatos cursaram o ensino médio [Duarte et al 2013]. A análise mostra que, no exame de 2009, com exceção da questão 45 (para a qual os alunos da rede federal apresentam um desempenho um pouco superior), os percentuais acima apresentados se repetem. Chama atenção o desempenho na questão 17, cujo índice de acertos é de aproximadamente 5% (e, mesmo com a discriminação por dependência administrativa, esta porcentagem ainda é inferior a 10% para a rede com melhores resultados, a federal). O desempenho dos estudantes nesta questão (que propunha a estimativa do raio de curvatura possível para um trem-bala entre Rio e São Paulo) foi objeto de um estudo mais detalhado por Duarte [Duarte 2013], com análise das justificativas dos alunos para a escolha das alternativas apresentadas. Finalmente, das dezesseis questões de Física, apenas três apresentam um percentual de acerto superior a 50%.

Esse resultado provavelmente não impressiona tanto um professor de Física. A dificuldade que os estudantes apresentam nessa disciplina é um fato bastante conhecido por professores e, pode-se dizer, até mesmo do senso comum. (Caso haja dúvida acerca do fato, da próxima vez que algum desconhecido lhe perguntar qual a sua profissão, responda *professor de Física* e aguarde a sua reação.) O fato que talvez possa impressionar os professores de Física é que essa dificuldade não é exclusividade dos alunos brasileiros. A pesquisa em ensino de Física revela a existência de certas ideias espontâneas por parte dos estudantes, conceitos não científicos ou explicações elaborados em seu cotidiano, cuja alteração revela-se extremamente difícil e que se apresenta para alunos de diferentes países e idades [Arons 1997]. Esses resultados confirmam que as dificuldades dos alunos brasileiros não são apenas deles e que, independente de ser necessário avançar muito no que se diz respeito à qualidade do

ensino no país, ainda há muitas outras barreiras que independem do país e da cultura de origem.

Há ainda uma outra questão importante, e que deve ser enfrentada: como inserir conteúdos de Física relativamente mais atuais, a Física do século XX (Relatividade, Mecânica Quântica, Cosmologia, Big Bang, e outros), se as áreas da Física mais antigas (Mecânica, Física Térmica, Óptica, e outras) já apresentam grandes desafios para o professor? Esta questão merece um olhar mais cuidadoso, que será objeto da próxima seção.

2.2 – O Interesse em Física Moderna e Contemporânea

A educação, embora tenhamos a tendência de vê-la desta maneira, não é um processo linear. É evidente que não podemos desprezar as contribuições passadas para o nosso conhecimento atual, mas é ilógico pensarmos em refazer cada degrau dessa escada filosófica que é o intelecto humano. Se o fizermos, dificilmente sairemos da Grécia antiga. Um argumento bastante recorrente (entre tantos outros) ao se justificar o ensino da Física é o de fornecer instrumentos para a compreensão do mundo à nossa volta. O estranho é conseguir fazê-lo ignorando o último século da nossa história. É comum pensarmos na questão da dificuldade de se ensinar a Física Moderna e Contemporânea (FMC) como um forte entrave para o seu estudo no ensino médio, porém o seu ensino tem um fator decisivo que a diferencia do ensino mais tradicional: a Física Clássica, ensinada há décadas, e que por sinal já apresenta as dificuldades que enfrentamos ao ensinar FMC (a abstração, a dificuldade matemática, etc.), não representa um assunto de interesse para os alunos como a FMC, por mais difícil que possa parecer, e nenhum professor com o mínimo de experiência em sala de aula subestima a influência que tem o interesse intrínseco do aluno em um objeto de estudo no aprendizado deste.

Stannard [Stannard 1990 apud Dominghini 2010], em um levantamento de dados feito com estudantes universitários, constatou que assuntos como a Teoria da Relatividade, a Mecânica Quântica, a Astrofísica, são os que mais influenciam na

decisão de escolher a Física como carreira. Em outro levantamento, ao entrevistar 250 crianças com cerca de 12 anos para preparar um livro introdutório sobre Relatividade Geral, o autor constatou que um terço delas já havia ouvido falar em buracos negros e possuía uma razoável ideia do que se tratava. Um número considerável relacionava a Teoria do Big Bang com a origem do universo e que elas se mostravam intrigadas por estes tópicos e queriam saber mais a respeito.

Em 2015, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) realizaram a quarta edição da pesquisa sobre “Percepção Pública da Ciência e Tecnologia no Brasil” [Brasil 2015]. O público-alvo da pesquisa foi a população brasileira adulta, homens e mulheres, e jovens com idade igual ou superior a 16 anos. Entre os entrevistados, 43% se revelaram interessados em assuntos relacionados à ciência e tecnologia (C&T), enquanto 35% disseram ser muito interessados no assunto. A soma desses que apontaram certo interesse no tema (78%) impressiona ao estar à frente de assuntos como esportes (56%), arte e cultura (57%), economia (68%) e religião (75%). De fato, C&T apresentou a maior porcentagem, empatando com outros dois: meio ambiente e medicina e saúde. A imagem positiva da ciência por parte dos entrevistados se estendeu aos cientistas, tendo 50% os classificados como pessoas inteligentes que fazem coisas úteis à humanidade. Além disso, 78% dos entrevistados consideraram válido que se aumentem os investimentos na área. Em países como EUA, Espanha e França a porcentagem dos que possuem esta opinião fica em torno de 40% em pesquisas semelhantes [Brasil 2015]. Essa pesquisa em particular, além de revelar que o interesse em ciências é maior do que se pensa e que considerável parte do desinteresse vem da má compreensão dos assuntos científicos, também aponta mais claramente para a falha do ensino de ciências e de políticas públicas de divulgação científica. Enquanto 72% dos participantes disseram que nunca ou quase nunca leram livros sobre C&T, 87% não lembrava o nome de alguma instituição que se dedique à pesquisa científica no país, e 94% não lembrava o nome de algum cientista brasileiro famoso. Temos ainda que, entre os que não costumam visitar espaços de difusão científico-cultural (museus, bibliotecas, jardins botânicos, observatórios, etc.), 31,1% disseram não haver nenhum em sua região, 8,7% afirmaram que estes ficam muito longe e 7,7% não sabiam onde existem. Essa soma (47,5%) indica que quase metade dos entrevistados não frequenta estes espaços por existirem poucos investimentos neles

ou em sua divulgação. As consequências para a população são negativas (algumas delas também indicadas nesta pesquisa), como a ingenuidade no assunto por grande parte dos entrevistados. Segundo esta, 54% dos participantes acreditam que C&T só trazem benefícios para a humanidade, e apenas 50% concordaram totalmente que os riscos decorrentes dos desenvolvimentos científicos e tecnológicos devem ser expostos. Isso indica que a outra metade não tem certeza ou não concorda com essa divulgação!

Este trabalho revelou alguns aspectos que podem ser complementados com outro tipo de estudo. Há resultados obtidos a partir de exames internacionais e de exames nacionais, que fazem avaliações sobre os aspectos cognitivos da aprendizagem. E vem se desenvolvendo, há menos de uma década, um interesse em compreender as atitudes e valores dos estudantes em relação à Ciência e Tecnologia. O PISA de Ciências em 2006 preocupou-se com o aspecto das atitudes, e inseriu questões que abordavam o interesse dos estudantes. Em 2010, foi divulgado o resultado de um projeto europeu, ROSE (the Relevance Of Science Education), no qual se afirma que “*das perspectivas educacional e da sociedade de longo prazo, as dimensões afetivas da educação em ciência devem ser vistas como tão importantes quanto os escores medidos em testes ao final da escola obrigatória*”¹ [Sjöberg e Schreider 2010], e propõe-se a avaliar essas dimensões a partir das atitudes e valores revelados pelos estudantes (de até 15 anos) em relação à ciência e à tecnologia. Os resultados reportados, nos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), levantam preocupações com relação ao interesse relacionado ao setor de ciência e tecnologia nos países desenvolvidos; os alunos dos países mais ricos revelam menos interesse em relação ao estudo na escola de assuntos relacionados à ciência e menor interesse em seguir carreira em áreas relacionadas à ciência e tecnologia: “*é óbvio que o setor de C&T na Europa (e em outros países da OCDE) está enfrentando um sério problema, o*

¹ versão do original, “from a life-long educational and societal perspective, the affective dimensions of science education should be seen as just as important as the measured test scores at the end of compulsory school.” (p. 4)

*recrutamento para o setor de C&T*² [Sjoberg e Schreider 2010]. Um assunto, porém, no qual este estudo revela existir um grande interesse dos alunos (tanto meninas quanto meninos): a possibilidade de vida fora da Terra.

O projeto ROSE foi aplicado no Brasil, em duas etapas: uma em apenas dois municípios [Tolentino Neto 2008], e outra com distribuição amostral (similar à do Pisa de Ciências), descrita por Santos Gouw [Santos Gouw 2013]. Os resultados diferem dos obtidos pelo projeto ROSE na Europa no que se refere ao interesse pelo ensino de ciências, mas também indicam pouco interesse na carreira científica: *“Em relação à ciência escolar, os jovens brasileiros a consideram uma disciplina interessante, apesar de não terem preferência por ela em relação a outras disciplinas. Há uma atitude positiva geral em relação à disciplina, tanto no que se refere à sua importância quanto à sua utilidade. Apesar de demonstrarem interesse pela ciência escolar, tanto meninas quanto meninos têm pouco interesse em ingressar na carreira científica.”* [Santos Gouw 2013, resumo]. Os temas que os estudantes apontaram como de maior interesse foram Tecnologia (15%, meninos, e 5% meninas) e Universo (10%, meninos e 5% meninas). Na média geral, o tema Física (astronomia, óptica, eletricidade, acústica) obteve uma média geral 2,70 (em 4 pontos), ligeiramente inferior aos temas Proteção Ambiental (2,83) e Saúde, forma física e beleza (2,86) [Santos Gouw 2013].

Nas recomendações finais dos responsáveis pelo projeto ROSE, verifica-se a sugestão que tal tipo de interesse dos alunos seja fortemente levado em conta nas estratégias de ensino-aprendizagem [Sjöberg e Schreider 2010]:

“As experiências dos alunos, bem como seus interesses, devem ser levadas em conta na construção dos currículos, na produção de livros didáticos e de outros materiais de ensino bem como nas atividades de sala de aula. Ao fazer isso, deve-se ter em mente as grandes diferenças de gênero em interesses e valores. ‘Ouvir os estudantes’ não implica, é evidente, que eles sejam ensinados ‘o que eles querem que seja’. Mas o ensino tem (em particular nos países mais ricos) que ser motivador, significativo e provocar engajamento. Ele tem, de alguma forma, que ligar-se aos valores e aos interesses que o aluno traz para a sala de aula. Se não o for, é provável que ocorra apenas a ‘aprendizagem’ da memorização crua baseada na obrigação. Se esta situação ocorrer, os aprendizes provavelmente desenvolverão atitudes negativas, e virarão as costas

² versão do original, “it is obvious that the S&T sector in Europe (and other OECD countries) is facing a serious problem, the recruitment to the S&T sector.” (p. 28)

*para a ciência, matemática e tecnologia quando tomarem suas decisões sobre a vida futura, seja como estudantes, seja como cidadãos.”*³ (p. 29)

O ponto central da relevância e do impacto que as ciências atuais têm na vida do cidadão é justificativa suficiente para a inclusão de tópicos de estudos mais atuais no nível médio, que possam interessar, motivar e engajar os estudantes em seu aprendizado.

A próxima seção discute como são os currículos escolares no país.

2.3 - Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

As pesquisas citadas e muitas outras indicam o interesse dos estudantes brasileiros em ciências, assim como a importância delas e o impacto que têm sobre a população, em particular no que se refere a assuntos atuais. Esses resultados e os esforços por parte de diversos pesquisadores e professores de Física resultaram na inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) nos livros de Física no ensino médio. O caráter da inserção desses tópicos é, no entanto, o de uma pequena modificação dentro de um cenário maior: a modernização do currículo nacional, que altera não apenas os conteúdos abordados, mas os objetivos gerais da educação básica brasileira.

Essa reforma educacional, iniciada ao final da década de 90 com a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional [LDB 1996], após a nova Constituição de 1988, modificou a perspectiva de formação dos alunos na educação básica, por meio dos documentos legais que a acompanharam: as Diretrizes Curriculares Nacionais [DCN 1998] e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio

³ versão livre do original: “Students experiences as well as their interest should be attended to in the construction of curricula, in the production of textbooks and other teaching material as well as in the classroom activities. In doing this, one should keep the larger gender differences in interests and values in mind. “listening to the students” does, of course, not imply that they should be taught “what they want to have”. But the teaching has (in particular in the more wealthy countries) to be motivating, meaningful and engaging. It has, in some way, to link up to the values and interest that the learner bring to the classroom. If not, no other “learning” than rote memory based on duty is likely to occur. If this is the situation, the learner is likely to develop negative attitudes, and will turn their backs to SMT when they make their decisions about future life, be it as students or as citizens.” (p. 29)

(PCNEM) em 2000 e seu complemento, as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) em 2002.

Os PCNEMs são, como o nome sugere, um conjunto de parâmetros para orientar a referência para a base nacional curricular comum prevista na LDB. Segundo esta, a educação básica não é uma educação para o ensino superior, e sim uma educação para a formação geral do cidadão. Segundo o documento introdutório [PCNEM 2000]:

“O Ensino Médio, portanto, é a etapa final de uma educação de caráter geral, afinada com a contemporaneidade, com a construção de competências básicas, que situem o educando como sujeito produtor de conhecimento e participante do mundo do trabalho, e com o desenvolvimento da pessoa, como “sujeito em situação” – cidadão.” (parte 1, p. 10)

Os objetos de estudo são divididos pelos PCNEM em três grandes áreas de conhecimento: Linguagens, Códigos e suas Tecnologias; Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias e Ciências Humanas e suas Tecnologias. A Física, assim como a Biologia, a Química e a Matemática, se encontra na segunda área. O documento, em sua primeira parte, não faz distinção das disciplinas ao descrever as áreas e suas respectivas propostas pedagógicas. Há a intenção declarada de criação de um currículo interdisciplinar e transdisciplinar no qual as disciplinas de uma mesma área (e das áreas entre si) dialoguem e contemplem objetivos comuns. Na parte 3, que trata especificamente da área que engloba a Física, constatamos mais uma vez a defesa de uma educação geral com o intuito da formação do cidadão, e que englobe tanto o aluno que dará continuidade a seus estudos após o término do ensino médio, quanto o aluno que encerrará nessa etapa a sua vida acadêmica. Ainda nesse contexto, buscando a formação de um cidadão crítico, autônomo, consciente e participativo em relação à sociedade, o texto defende a inserção da FMC, criticando o sistema de ensino da época que ignorava essa relevante (e considerável) parcela do conhecimento da Física [PCNEM 2000]:

“Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais. Para uma educação com o sentido que se deseja imprimir, só uma permanente revisão do que será tratado nas disciplinas garantirá atualização com o avanço do conhecimento científico e, em parte, com sua incorporação tecnológica.” (parte 3, p. 8)

Em outro momento, o tema deste trabalho é mencionado explicitamente [PCNEM 2000]:

“A cosmologia, no sentido amplo de visão de mundo, e inúmeras tecnologias contemporâneas, são diretamente associadas ao conhecimento físico, de forma que um aprendizado culturalmente significativo e contextualizado da Física transcende naturalmente os domínios disciplinares estritos.” (parte 3, p. 10)

Os objetivos das áreas, tanto os gerais quanto os específicos, foram agrupados por competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos alunos durante o processo educativo. O enfoque fornecido pelos Parâmetros Curriculares Nacionais alinha-se com alguns movimentos que se davam, à época, com a discussão sobre a formação científica em diversos locais do mundo.

Já os PCNs+, um material complementar aos PCNs, foram publicados em seguida, e, além de reiterar os objetivos propostos no documento original, ampliam as orientações contidas no documento anterior e [PCN+ 2002]

“(...) explicita a articulação das competências gerais que se deseja promover com os conhecimentos disciplinares e apresenta um conjunto de sugestões de práticas educativas e de organização dos currículos que, coerentes com aquela articulação, estabelece temas estruturadores do ensino disciplinar na área.” (PCN+, p. 1)

Este documento pretende ter um caráter mais prático, facilitando a organização curricular por parte dos professores de cada disciplina nessa mudança de paradigma da educação nacional. Nesse sentido, os PCNs+ sugerem um conjunto de conteúdos para cada disciplina que estejam em conformidade com os objetivos da reforma do ensino médio, mas que não se constituem numa lista de tópicos, e sim uma proposta que busca a formação geral mediante o desenvolvimento das habilidades e competências referidas nos PCNs e mantendo o caráter interdisciplinar a articular o trabalho das disciplinas. Ainda assim, as sugestões de metodologia (e de conteúdo), permanecem abertas e flexíveis, quase tão gerais quanto as do documento anterior, frente à (segundo o texto) inexistência de uma fórmula pronta para transitar entre a antiga postura (da listagem de conteúdos, do exagerado formalismo matemático, do foco na resolução dos exercícios e no conteúdo abstrato e com pouca ou nenhuma ligação com a realidade do aluno) e o novo conceito de se ensinar Física (visando a formação de um cidadão antes de um profissional, com caráter interdisciplinar e contextualizado). Portanto [PCN+ 2002]

“É nesse sentido que encaminhamos essa discussão, com a advertência explícita de que não será possível apresentar soluções para todos os problemas e inquietações. Trata-se, ao contrário, de trazer elementos que possam subsidiar os professores em suas escolhas e práticas, contribuindo assim ao processo de discussão. Para isso, buscou-se aprofundar e, sobretudo, concretizar melhor tanto habilidades e competências como conhecimentos, atitudes e valores que a escola deveria ter por meta promover no Ensino Médio.” (p. 77)

Em relação à escolha dos conteúdos, o texto critica o ensino tradicional da Física no ensino médio como uma versão abreviada dos cursos de Física básica do ensino superior. Em relação às competências norteadoras do ensino, são organizadas em três grandes grupos: *Investigação e Compreensão, Representação e Comunicação, e Contextualização Sócio-Cultural*. Os PCNs+ exemplificam os objetivos e a maneira de desenvolver essas competências.

Todas essas ideias são apresentadas por Kawamura e Hossoume [Kawamura e Hossoume 2003] em artigo para professores. Neste texto, há discussão sobre as escolhas feitas: a divisão do conhecimento específico de Física manteve, até certo ponto, as áreas tradicionalmente trabalhadas na disciplina como Mecânica, Eletromagnetismo e Termologia, entre outros motivos, para facilitar a transição do modelo antigo para o novo. No entanto, a proposta de reflexão sobre as áreas, a forma de trabalhá-las em sala de aula, em suma, a metodologia a ser empregada, têm sempre como plano de fundo os objetivos dos PCN. Reconhecendo as diversas formas para esta abordagem, são sugeridos os chamados temas estruturadores para a Física [PCN+ 2002]

1. Movimentos: variações e conservações.
2. Calor, ambiente e usos de energia.
3. Som, imagem e formação.
4. Equipamentos elétricos e telecomunicações.
5. Matéria e radiação.
6. Universo, Terra e vida.

De acordo com o coordenador da elaboração do documento da área de Ciências da Natureza dos PCNEM, era necessária a introdução de temas de FMC, em particular o tema objeto de nosso trabalho. Segundo Menezes [Menezes 2000],

“É parte desta preocupação (ressaltar o sentido da Física como visão de mundo, como cultura, em sua acepção mais ampla) a nova ênfase atribuída à cosmologia física, desde o universo mais próximo, como o sistema solar e em seguida nossa galáxia, até o debate dos modelos evolutivos das estrelas e do cosmo. Sabidamente, estão ausentes dos currículos tradicionais tanto estes aspectos de caráter cultural mais geral, como outros mais de cultura tecnológica, não necessariamente pragmática, a exemplo da interpretação de processos envolvendo transformações de energia, (...) É claro que precisa ser cautelosa a sinalização para a inclusão desses novos conteúdos, seja pelos desafios didáticos que implica, encontrando professores despreparados e os textos escolares desguarnecidos, seja porque as próprias universidades, ainda por algum tempo, continuarão a solicitar os velhos conteúdos em seus vestibulares. Será preciso algum tempo para que esta proposta seja primeiro, compreendida e, mais tarde, aceita.”

No que se refere à inserção de aspectos relacionados aos desenvolvimentos mais recentes da Física, ou nem tão recentes por tratarem-se dos desenvolvimentos do século XX, este tem sido um assunto constante de pesquisa. Em Moreira e Osterman [Moreira e Osterman 2000] há uma cuidadosa revisão sobre os trabalhos de pesquisa relativos à inserção de temas da FMC no ensino médio. Neste trabalho, é elaborada uma síntese com 3 vertentes representativas das abordagens metodológicas dos trabalhos da área: a exploração dos limites clássicos, a não utilização de referências aos modelos clássicos e a escolha de tópicos essenciais, mencionando e discutindo em cada uma delas os pontos principais e os autores de referência [Moreira e Osterman 2000]:

“Em síntese, pode-se verificar que, além de ser um tanto escassa a literatura a respeito de questões metodológicas sobre o ensino da FMC nas escolas, há várias divergências a respeito de que caminho deve ser seguido. Em particular, o papel das analogias clássicas para o entendimento dos conceitos modernos, a ênfase ou não em pré-requisitos, a abordagem histórica ou “lógica” são pontos que geram muitas discordâncias. Como bem sugere Stefanel (1998), este movimento de reformulação curricular apenas se inicia e muitas pesquisas serão necessárias ainda para que possamos entender melhor esta complexa problemática.”

Em Pereira e Osterman [Pereira e Osterman 2009], a revisão é atualizada, entre os periódicos da área de ensino no Brasil e no exterior. Os trabalhos foram classificados em categorias (propostas didáticas testadas, levantamento de concepções dos alunos, bibliografia para professores e propostas curriculares). A conclusão dos autores é que, embora haja um número crescente de artigos sobre o tema, ainda há poucos trabalhos que discutam a aplicação desses temas a situações de sala de aula.

Portanto, observa-se que com as prescrições curriculares relativas à introdução de temas FMC no ensino médio, há poucas experiências sobre o tema sendo relatadas. As prescrições dos parâmetros curriculares nacionais encontraram resistências para sua implementação, por motivos variados (desde dificuldades na formação de professores, inexistência de materiais didáticos adequados, até resistência à proposta).

No Estado do Rio de Janeiro, porém, em 2012, no bojo de uma reformulação na administração da Secretaria Estadual de Educação, foi substituída a proposta de orientação curricular então existente por um denominado “Currículo Mínimo” [SEEDUC-RJ 2012]. Este currículo passou a ser adotado, ainda no ano de 2012, em todas as escolas do estado de forma compulsória: ao final de cada bimestre, os alunos seriam submetidos a um teste elaborado dentro do Sistema de Avaliação da Educação do Rio de Janeiro (SAERJ) com base nos conteúdos e nos objetivos previstos dentro do documento do currículo mínimo. Com esta exigência, os professores precisaram adaptar-se rapidamente ao novo currículo do estado.

Este currículo prescreve a divisão dos 3 anos de Física no ensino médio em 4 bimestres por ano, com campos (os temas) e competências a serem apresentadas:

1º ano:

bimestre 1: Cosmologia - Movimento

bimestre 2: Forças

bimestre 3: Relatividade Restrita e Geral

bimestre 4: Impulso, Momento Linear e conservação do momento

2º ano:

bimestre 1: Máquinas térmicas

bimestre 2: Termodinâmica

bimestre 3: Usinas termoelétricas e hidrelétricas – Energia térmica e mecânica –
Conservação e transformação de energia

bimestre 4: Energia nuclear – Usinas nucleares – Reações nucleares

3º ano:

bimestre 1: Motor e gerador elétrico – Tensão, corrente e resistência elétrica –
Potência e consumo de energia elétrica

bimestre 2: Magnetismo – Ímã – Magnetismo terrestre – Fluxo – Indução

bimestre 3 – Olho humano – Espectro eletromagnético – Ondas mecânicas

bimestre 4: Fenômenos ondulatórios – natureza da luz – efeito fotoelétrico

Os materiais didáticos disponíveis eram escassos; a partir da exigência de avaliação baseada neste currículo, os professores passaram a buscar materiais diversos

em diferentes fontes que possibilitassem o trabalho em sala de aula de acordo com o exigido pela rede estadual.

Com isso, a exigência de introdução de alguns tópicos de Física Moderna e Contemporânea tornou-se compulsória, pelo menos no estado do Rio de Janeiro.

2.4. Universo, Terra e Vida

Universo, Terra e vida, o sexto tema estruturador proposto nos PCN+, é um tema que até pouco tempo quase não era tratado no ensino médio. Alguns de seus aspectos, como os movimentos relativos da Terra, da Lua e do Sol, constam nos Parâmetros Curriculares dos anos finais do ensino fundamental, na disciplina Ciências, e são abordados de forma simples até mesmo pela idade dos alunos deste nível de ensino. No ensino médio, em Física, o assunto costuma ser abordado apenas no contexto da gravitação, fazendo-se um breve estudo dos primeiros modelos cosmológicos, para então dar ênfase total nos estudos de Kepler e Newton. Frequentemente a ideia que se formava era a de que os estudos anteriores eram simples obstáculos ao desenvolvimento científico e não um passo para que uma compreensão mais abrangente se desenvolvesse. Essa perspectiva, incompatível com a construção dos conceitos em ciência, uma construção humana em constante desenvolvimento, e portanto suscetível a mudanças, formou-se em parte por causa da abordagem superficial e fragmentada dos objetos de estudo feitos no ensino nas últimas décadas. Também a incompreensão do papel que o erro desempenha nas atividades da ciência, presente nas escolas desde os anos iniciais, tem como resultado o incentivo a um comportamento metódico, pensamento passivo e sufocamento da criatividade e capacidade de reflexão por parte dos estudantes. Sir Ken Robinson (Professor de Educação Artística da Universidade de Warwick entre os anos de 1989 e 2001, e consultor de diversos governos), numa entrevista a uma revista (“Isto é”, edição 2119, 18 de junho de 2010), discursou sobre o impacto negativo desse aspecto na educação dos jovens. Segundo Robinson,

“É preciso tornar a educação mais pessoal, em vez de linear. A vida não é linear. Embora isso seja difícil, não há outra alternativa. Se quisermos

encorajar as pessoas a pensar, temos que encorajá-las a ser aventureiras e a não ter medo de cometer erros.”

O discurso de Robinson nesta entrevista se mostrou extremamente coerente com os PCNEM e PCNs+ no que concerne os seus objetivos e planos de ação:

“Nosso sistema de educação formal tem 200 anos e durante esse tempo falhamos em conectar os estudantes aos seus talentos. A escola mata a criatividade. Fazemos um uso pobre dos nossos talentos. O sistema é obcecado com as habilidades acadêmicas, em levar os alunos para a faculdade. Nem todo mundo precisa ir para a universidade, nem todo mundo precisa ir na mesma época da vida.”

Robinson ainda afirmou que, de modo geral, todos os sistemas de ensino ao redor do globo tendem a apresentar essa postura, embora diversos países estejam tentando mudar essa realidade.

O tema estruturador “Universo, Terra e Vida” tem grande potencial pedagógico, sobretudo seu alcance em termos de interdisciplinaridade: o estudo dos movimentos relativos do sistema Terra-Sol-Lua faz uma conexão com a História, através dos diversos calendários de diferentes culturas ao longo do tempo, e sua relação com os aspectos socioeconômicos, como os festivais e tradições das colheitas. Além disso, simultaneamente nos apresenta um exemplo atual do modo de agir (e dos benefícios) da Ciência, cujos estudos geram previsões que constituem informações essenciais para a humanidade, como as estações do ano, suas diferenças ao redor do globo, suas causas e seus impactos. Este conhecimento também está intimamente ligado à Geografia, e relacionado com os temas estruturadores 1 e 3. O estudo das estrelas, seu brilho e o seu espectro fazem uma ponte direta com a Química, bem como com os temas estruturadores 3 e 5. O estudo da formação do universo, que muitas vezes representa um mistério (e até é motivo de ceticismo) para os estudantes, pois informações de tempos que o homem sequer existia são obtidas, é uma perfeita demonstração do poder da criatividade humana e de seu potencial investigativo, quando se discute como foi feito: um trabalho coletivo e contínuo, retirando uma visão mística da ciência como algo que apresenta informações prontas, sem causa aparente, ou fruto da mente de gênios. É possível também uma conexão com a Biologia e o estudo da Teoria da Evolução de Darwin, e com a Filosofia, na reflexão do lugar do homem no universo. Todos esses estudos permitem também uma abordagem da História da Ciência, fornecendo uma

visão epistemológica da Ciência, prevenindo erros conceituais comuns por parte da população como a expressa em “se é teoria é porque não é comprovada”.

Na próxima seção é discutido um dos objetos de estudo deste tema estruturador e recém inserido no ensino médio: a Teoria do Big Bang. Será discutida a sua inserção neste nível de ensino.

2.5. A Teoria do Big Bang no Ensino Médio

A Teoria do Big Bang é o nome dado ao atual modelo cosmológico, ou seja, modelo que explica o “funcionamento” do universo, sua origem e evolução. O uso da expressão “Teoria do Big Bang” não é bem aceito entre os físicos especializados, que preferem a maior precisão dada por “Modelo Padrão da Cosmologia”. Mas “Teoria do Big Bang” popularizou-se entre o público em geral.

Como todo modelo científico, tem um domínio de validade e está sujeito a alterações (ou substituições) frente a novas evidências. Esse, na verdade, é um dos pontos a serem discutidos em sala de aula para se evitar a errônea visão de verdade absoluta que às vezes os alunos formam das ciências.

O modelo, que surgiu e se firmou ao longo do século passado, passou por transformações e, mesmo no meio científico, constituiu uma mudança de paradigma, transformando a visão de um universo eterno e estático para um dinâmico e com uma origem. Apesar de as transformações científicas não serem, na maioria das vezes, bruscas, e de os estudos antigos muitas vezes continuarem válidos e em uso (como a Teoria da Gravitação de Newton) dentro de limites de validade, também ocorrem, de tempos em tempos, mudanças mais drásticas. O século XX foi um no qual muitas mudanças drásticas ocorreram, com o surgimento da Teoria da Relatividade, da Mecânica Quântica e da própria Teoria do Big Bang. Uma análise da evolução das ideias da ciência é útil para mostrar aos alunos como essas modificações fazem parte da construção científica e como essa característica representa antes uma força do que uma fraqueza das ciências. Acima de tudo, para que eles percebam como isso constitui um processo natural, e não uma falha humana. Portanto, é natural a resistência a novas

ideias, assim como às mudanças em geral. Se estimulamos o raciocínio crítico dos alunos, não devemos repreendê-los por afirmarem que não acreditam na Teoria da Evolução de Darwin ou na Teoria do Big Bang, mas sim estimulá-los a pensarem mais no assunto, dando ênfase a que, na ciência, o “sim” e o “não” têm menos valor do que o “porque sim” e o “porque não”.

2.6. A mudança da abordagem: o exemplo da Teoria do Big Bang

Com relação à inclusão dos tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio brasileiro, Domingui [Domingui 2012] analisou a inserção nos livros didáticos de Física disponibilizados pelo PNLD (Programa Nacional do Livro Didático) 2012 do tema, fazendo um levantamento da opinião dos autores dos livros. O PNLD é um programa executado em ciclos trienais alternados pelo Ministério da Educação (MEC) que, conforme consta em seu portal,

“(...) tem como principal objetivo subsidiar o trabalho pedagógico dos professores por meio da distribuição de coleções de livros didáticos aos alunos da educação básica. Após a avaliação das obras, o Ministério da Educação (MEC) publica o Guia de Livros Didáticos com resenhas das coleções consideradas aprovadas. O guia é encaminhado às escolas, que escolhem, entre os títulos disponíveis, aqueles que melhor atendem ao seu projeto político pedagógico.”

Os dez livros analisados possuem, sobre tópicos de FMC, além de textos dispersos ao longo do livro, unidades (ou capítulos) específicos em pelo menos dois dos três volumes. Quatro destes mencionam a Teoria do Big Bang: *Física em Contextos* [Pietrocola et al 2010], *Física e Realidade* [Gonçalves Filho e Toscano 2010], *Física para o ensino médio* [Fuke e Yamamoto 2010] e *Física: ciência e tecnologia* [Torres, Ferraro e Soares 2010]. Analisamos a forma como foi exposto o assunto em cada um desses livros, sendo uma dessas análises exposta a seguir [Pietrocola et al 2010]. O livro mencionado é dividido em três volumes, e (na edição analisada, posterior ao PNLD 2012) a Teoria do Big Bang foi abordada nos volumes 1 e 3.

No volume 1, o tema foi abordado em um texto introdutório ao capítulo denominado “Gravitação universal”. Não apresenta formalismos matemáticos. No começo, o texto diz o porquê do modelo ser conhecido por este nome (Teoria do Big

Bang) e, em seguida, apresenta dois nomes, o cosmólogo belga Georges Lemaître e o físico russo (naturalizado estadunidense) George Gamow, como os responsáveis pela “criação” e o desenvolvimento, respectivamente, do modelo. A seguir, aponta o astrônomo estadunidense Edwin Hubble (1889-1953) como o responsável pela comprovação experimental da Teoria do Big Bang, mediante a “revelação” da expansão do universo, embora outro astrônomo estadunidense, Vesto Slipher (1889-1953) já tivesse um trabalho que apontasse para essa direção, mas cujos resultados eram menos precisos e convincentes que os de Hubble. Após esse curto retrospecto histórico, o texto apresenta um raciocínio muito comum utilizado para explicar a Teoria do Big Bang: como o universo está em expansão, antes ele era menor do que é hoje. Recuando no tempo chegaremos a um momento no qual todo ele estava concentrado em um único ponto. Após isso, comenta-se a o fato de que, na década de 1990, cientistas terem encontrado evidências de que o universo se expande de forma acelerada.

Já o texto do volume 3 está localizado no capítulo “Física Nuclear” e contém formalismos matemáticos para discutir a Lei de Hubble. O texto apresenta alguns dados acerca da Teoria do Big Bang como a temperatura do universo nos instantes após o início da expansão, há quanto tempo (aproximadamente) essa ocorreu, a composição do universo nesses instantes iniciais, suas interações e a evolução de ambas. Após isso, é mencionada que uma forte evidência experimental deste modelo foi a detecção, em 1965, pelos astrônomos Arno Penzias e Robert Wilson, da radiação cósmica de fundo, uma radiação na faixa de frequência de micro-ondas que é um resquício da grande “explosão” (início de sua expansão) do universo. Depois o texto menciona a expressão matemática da Lei de Hubble e afirma que ela é a prova da expansão do universo. Por fim é feita uma discussão dos próximos desafios, como a compreensão da natureza da matéria escura e da energia escura.

Ressaltamos aqui que o conteúdo foi apresentado em dois textos (cada um de mais ou menos uma página), sendo obviamente impossível uma abordagem completa, mesmo com o caráter de divulgação científica apenas. A questão aqui não é ter mais tempo para tratar mais conteúdo, afinal a educação não é um processo linear. O ponto chave aqui é a metodologia, que consiste em listagem de conteúdos, sem contexto, informação gratuita que levanta mais suspeitas nos estudantes do que esclarecimento.

Os mesmos textos, por exemplo, poderiam, ao invés de simplesmente mencionar que existem provas experimentais do modelo, discutir essas evidências, ou, já que falamos da questão do tempo, ter posicionado o texto num contexto no qual esses exemplos façam sentido. Assim, ao mencionar a Lei de Hubble, o texto poderia estar próximo ao estudo equivalente à “Som, imagem e formação”, explicitando como o estudo da luz e de fenômenos ondulatórios, como o efeito Doppler, fornecem informações que não podem ser obtidas de maneira direta, expandindo nosso horizonte de possibilidades de aquisição de conhecimentos, ao invés de estar no capítulo de Gravitação apenas por ser um tema relacionado.

Outro ponto a ser debatido são as informações históricas apresentadas. É evidente que uma abordagem completa não é viável, mas designar um nome (ou, no caso, dois nomes) para uma criação, especialmente uma tão complexa e cheia de reviravoltas, ocorridas e debatidas ao longo de um século, é diminuir o trabalho de centenas de estudiosos que contribuíram, em maior ou menor grau, para que o modelo seja o que é hoje, além de representar uma meia verdade que mostra incoerências dentro do próprio texto. No primeiro parágrafo, o texto informa que Lemaître (1894-1966) foi o “criador” desse modelo, ou pelo menos, de sua primeira versão em 1926. Já no terceiro parágrafo, o texto informa que “a polêmica começou com a bombástica revelação da expansão do Universo, feita em 1929 pelo astrônomo estadunidense Edwin Hubble (1889-1953)”. Como o começo pode ter acontecido em 1929 se o trabalho foi proposto por Lemaître em 1926? Se o começo se refere à polêmica revelação, por que a classificar como revelação? Afinal, Lemaître já havia proposto o modelo três anos antes do trabalho de Hubble. Ainda que corriamos essa frase, trocando revelação por constatação, como Lemaître chegou a esse modelo? Não foi por observação, afinal foi Hubble quem a fez em 1929. Foi pelo trabalho de Slipher em 1917? Se foi, então por que a polêmica não começou com seu trabalho, ou por que ele não é classificado como o criador da primeira versão do modelo? É por que, como o texto diz, os resultados de Hubble foram mais precisos e convincentes? E o que significa, nesse contexto, ter um trabalho mais convincente? Essas contradições na verdade não existem. Um estudo relativamente pouco aprofundado da história do modelo nos esclarece essas questões. Em resumo, Lemaitrê estruturou seu trabalho tendo como base a Teoria da Relatividade Geral de Einstein, que é uma Teoria de Gravitação que se mostrou mais abrangente (e

precisa) que a atual de sua época, a de Newton. Einstein não é classificado como o primeiro pensador do modelo porque ele mesmo não percebeu que uma das inúmeras implicações de sua teoria era a possibilidade de um universo dinâmico, enquanto que Lemaître o fez. Para ser ainda mais preciso, Lemaître não foi o primeiro a fazer essa observação; antes dele o matemático russo Alexander Friedmann (1888-1925) havia publicado dois artigos (em 1922 e 1924) evidenciando esse fato, embora sua abordagem tenha sido mais matemática, sem que seu autor apresentasse muitas interpretações físicas dele. Talvez por isso Friedmann não receba tanto mérito quanto Lemaître na criação de uma versão precursora do Big Bang. Curiosamente, Einstein inicialmente refutou o trabalho de ambos, para depois se retratar ao ver que eles faziam sentido. Já a contribuição de Slipher e Hubble é puramente experimental. Slipher foi o primeiro a medir a velocidade radial (de afastamento ou aproximação) de uma estrela (na verdade de uma galáxia, embora na época os astrônomos as designassem por nebulosas, não sabendo que elas eram galáxias como a nossa Via Láctea) em relação a nós em 1912. Em 1917 ele havia medido a velocidade de diversas galáxias, e constatou que a grande maioria se afastava de nós. Já Hubble repetiu as observações de Slipher, além de complementá-las com a de diversas galáxias, além de encontrar uma relação matemática para a distância das galáxias até nós e sua velocidade de afastamento. Um estudo então, mais completo, e que sugere mais fortemente a expansão do Universo. Na verdade, há evidências de um trabalho similar feito pelo próprio Lemaître em 1927, o que complica um pouco a história de que Hubble teria sido aquele que comprovou a expansão do universo.

O ponto central, de qualquer forma, não é a compreensão da história contada no texto, mas sim o fato de que, nesse caso, pouca informação é mais perigosa que nenhuma. Nomear “criadores” e colaboradores sem contexto e um estudo mais aprofundado acaba por prejudicar a compreensão mais clara do assunto, desperdiçando um tema que, além de atual, é uma poderosa ferramenta para a aquisição das competências exigidas hoje para um cidadão. Curiosamente, na edição anterior deste livro [Pietrocola et al 2010], esses aspectos históricos foram abordados de forma mais cuidadosa através da exposição do texto de uma matéria publicada em “O Estado de S. Paulo” em 26 de julho de 1998 (traduzido do “Eastbrook”) com a única ressalva de que o artigo diz que Lemaître desenvolveu seu trabalho baseando-se, em parte, no trabalho

de Friedman, e ao que tudo indica, embora o trabalho de Friedman seja anterior ao de Lemaître, seus trabalhos foram independentes [Waga 2005].

Em relação aos outros livros analisados, em um deles o texto não tratava especificamente do modelo, mas sim de implicações da Teoria da Relatividade Geral de Einstein e, entre essas, ele cita o Big Bang. O texto se localiza no volume 3, no capítulo “Teorias da Relatividade”, ocupa pouco menos do que meia página, não chegando a abordar o tema profundamente. Os outros dois livros seguem, no geral, a mesma apresentação curta que o mencionado acima, contendo uma ou mais seções que mencionam o tema.

2.7 - Conclusão

Diversos trabalhos mostram o interesse que os assuntos relacionados a temas mais recentes de ciências despertam nos estudantes de ensino médio. As prescrições curriculares no país indicam a importância da abordagem destes temas.

Aspectos relacionados a estudos sobre astronomia e cosmologia possibilitam também tratar de um assunto importante no que se refere ao ensino de ciências: aspectos relacionados ao processo de construção dos conhecimentos científicos, à discussão sobre a natureza da ciência, à compreensão que a ciência não é fé, podem ser revelados com a abordagem desses tópicos.

No entanto, de modo geral, poucos textos didáticos abordam o tema da cosmologia e do Big Bang, apesar da relevância que possui e das indicações das pesquisas e das recomendações curriculares. Alguns poucos tocam no tema, mas, da mesma forma que o faziam em relação a temas do século XX mais disseminados hoje em dia (a relatividade restrita e a mecânica quântica), com textos “isolados”, citações de jornais ou de outras fontes de divulgação científica nas sessões geralmente denominadas “curiosidade” ou “para saber mais”. Embora esses textos possam ser um indício que o tema em breve será mais explorado no ensino médio, ele possibilita ricos e interessantes aspectos, em termos de conexões com diversos temas da Física, de outras disciplinas e mesmo das outras áreas do saber, do interesse geral acerca do tema e do

exemplo que fornece sobre como os modelos científicos surgem e evoluem com o passar do tempo.

Este trabalho propõe-se, como alguns outros vêm fazendo recentemente [Froes 2014; Aguiar 2010], a constituir-se numa contribuição para a elaboração de materiais que possibilitem incluir aspectos da cosmologia, especificamente o big bang, no ensino médio.

No apêndice deste trabalho, são apresentados materiais que têm como objetivo uma abordagem alternativa para discutir a Teoria do Big Bang no nível médio através do estudo da Lei de Hubble. Procurou-se a adequação às questões consideradas neste capítulo, tanto do ponto de vista das prescrições curriculares quanto das questões em discussão no ambiente dos pesquisadores em ensino de ciências.

No próximo capítulo, será descrito o processo que conduziu à elaboração desses materiais.

Capítulo 3. O Desenvolvimento dos Materiais

A ideia da elaboração dos materiais didáticos apresentados neste trabalho surgiu por vias tortuosas. Talvez todo professor de Física passe pela situação de desconforto, em especial nos primeiros anos lecionando: o desempenho e o desgosto que grande parte de nossos alunos manifestam nas aulas de Física acabam por nos fazer repensar constantemente nossas atividades. O motivo de tal dificuldade é objeto de diversos estudos, de conclusões ainda incertas e, seja pela linguagem matemática, pela necessidade de abstração, por uma base fraca, qualquer que seja a razão para a dificuldade de se ensinar (e aprender) Física, o sentimento de culpa é quase inevitável depois que lidamos com os (às vezes constantes) insucessos em nosso trabalho. Esse sentimento, entretanto, é justamente o que costuma nos impulsionar em busca de novas abordagens, na tentativa de lidar com ele. E, embora não devamos desvalorizar tentativas isoladas de cunho pessoal que surjam da reação às dificuldades cotidianas de um indivíduo em particular, a busca por novos caminhos a seguir com o fim de alcançar um aprendizado significativo tem maior probabilidade de ser bem sucedida quando amparada por uma reflexão mais aprofundada sobre os estudos existentes na literatura (em particular de ensino de Física) e por uma fundamentação teórica relativa ao ensino e aprendizagem.

O surgimento dos materiais deste trabalho se deu no confronto de dois obstáculos de docência em Física no ensino médio: a já mencionada dificuldade “natural” de se ensinar (e aprender) Física neste nível de ensino, e a segunda, que “surgiu” cronologicamente depois, o desafio de se ensinar a chamada Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio.

Uma reação ao primeiro desafio foi a busca de metodologias que fugissem ao chamado ensino tradicional, marcado pela memorização exacerbada do conteúdo e que dificilmente levam à uma aprendizagem profunda de algum objeto de estudo. Duas leituras em particular foram chaves para este trabalho e se encontram de forma mais presente em um de seus três materiais didáticos, embora elas tenham sido feitas em momentos temporais bem distantes uma da outra. O artigo do professor Marco Antônio

Moreira, “Unidades de Ensino Potencialmente Significativas” [Moreira 2011] e o livro do professor norte-americano Eric Mazur, “Peer Instruction” [Mazur 1997]. A influência da elaboração de unidades de ensino potencialmente significativas [Moreira 2011] veio mais tardiamente no desenvolvimento do trabalho mas se deu de forma mais direta que o do segundo. A leitura sobre instrução por colegas [Mazur 1997] foi bastante esclarecedora, sobretudo por se tratar de uma metodologia de ensino aplicada diretamente à sala de aula, um tipo de estudo no qual parte dos professores de ensino médio se sentem mais à vontade. Embora a realidade apontada por Mazur seja significativamente diferente da dos professores de Física do final do ensino básico brasileiro (até pelo fato dele ser professor do ensino superior e, portanto, ter aplicado seu método nesta etapa do ensino), já existem estudos de aplicação do método no nível médio, alguns inclusive aqui no Brasil [Araújo 2013]. O método consiste no uso de perguntas chave e da interação dos alunos para que estes atinjam o aprendizado de determinado objeto de estudo. A interação se dá por meio de uma discussão entre os alunos que escolhem alternativas diferentes como resposta à determinada pergunta chave; nessa discussão, cada um deles deve tentar convencer seus colegas do porquê sua alternativa ser correta – e o professor deve mediar as discussões. A resposta dos alunos define o comportamento posterior do professor (avançar no tema ou rediscuti-lo). O grande mérito desse método é o da interação entre os alunos e entre alunos e professor. E, de certo ponto de vista, este método parece “combinar” muito bem com o que, segundo Moreira [Moreira 2011], é essencial para que o aluno atinja uma aprendizagem significativa.

Nas próximas seções será discutida a elaboração dos materiais produzidos, todos com o objetivo de abordar, no ensino médio, a Teoria do Big Bang. São textos para um professor que fosse planejar suas aulas sobre este tema, mas que também pudesse ser usado por um aluno do nível médio que fizesse uma leitura introdutória, algo próximo do que seria a leitura de um capítulo (ou uma seção) de um livro didático. Apresenta-se um plano de ensino, um conjunto de aulas sobre este assunto e um jogo que pudesse ser usado como uma ferramenta avaliativa diagnóstica ou formativa. Todos esses materiais são versões produzidas após uma primeira aplicação de versões anteriores em sala de aula do ensino médio.

3.1. Uma Sugestão de Abordagem: a Lei de Hubble

As discussões sobre a introdução de FMC no ensino médio, presente em artigos e em documentos legais, foram a base para a construção de dois dos três materiais: o texto sobre a Lei de Hubble e o plano de ensino.

Para uma proposta consistente de ensino de FMC no nível médio, duas vertentes centrais podem ser identificadas como problemas a serem resolvidos. A primeira vertente está associada ao receio, por parte dos professores, de ensinar conteúdos novos e diferentes, quando não são obtidos bons resultados com os conteúdos tradicionais. A segunda vertente está associada à metodologia de ensino: tem-se consciência da necessidade de uma aprendizagem ativa por parte do estudante, não é possível tentar abordar o novo tema com metodologias inadequadas.

A dificuldade no ensino de tópicos de Física mais recentes (do século XX) no nível médio parece ser mais uma resistência dos docentes, pois parece tão difícil ensinar Física Moderna e Contemporânea quanto ensinar Física Clássica; segundo Ostermann e Moreira [Ostermann e Moreira 2000],

“[...] É viável ensinar FMC no EM, tanto do ponto de vista do ensino de atitudes quanto de conceitos. É um engano dizer que os alunos não têm capacidade para aprender tópicos atuais. A questão é como abordar tais tópicos [...] Se houve dificuldades de aprendizagem não foram muito diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdos da física clássica [...] Os alunos podem aprendê-la se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis.”

A dificuldade então, segundo os autores, está no preparo dos professores e no uso de materiais didáticos adequados. Enquanto o preparo dos professores depende dos cursos de formação inicial, do esforço pessoal de atualização e de programas de formação continuada, há carência de materiais didáticos para o ensino de FMC no ensino médio. Com exceção da Teoria da Relatividade Restrita, grande parte do conteúdo de FMC é apresentada em livros didáticos apenas em curtos textos a título de curiosidade (e, muitas vezes, de forma pouco contextualizada). Embora com a internet possamos encontrar uma gama considerável de materiais sobre o assunto, será difícil encontrar algo passível de ser trabalhado em sala de aula que supere o caráter de divulgação científica, e são poucos os materiais didáticos com algum aprofundamento

nesses assuntos. A importância do livro didático é incontestável, mesmo quando se considera que ele não possa ser o único material disponível.

Um dos materiais presentes neste trabalho é, então, um texto que consiste em uma sugestão de abordagem para discutir a Teoria do Big Bang.

Esse texto foi elaborado tendo-se em mente que poderia ser consultado por um professor de Física do ensino médio que estivesse planejando uma aula sobre o tema ou por um aluno do ensino médio que estivesse interessado no assunto. Ele foi preparado tendo em mente as sugestões e prescrições do PCN e PCN+ e as necessidades surgidas com o currículo das escolas da rede estadual de ensino do Rio de Janeiro. Nas escolas públicas estaduais do Rio de Janeiro, o tema cosmologia está presente como assunto a ser abordado no primeiro e no terceiro bimestres do primeiro ano. A curiosidade dos alunos sobre o tema é evidente, manifestando-se claramente em sala de aula, ao contrário do que seria esperado. A abordagem nos livros didáticos sobre o assunto, entretanto, costuma ser curta, rápida, sem contextualização e cheia de informações “prontas” que rapidamente minam o interesse dos alunos no tema, além de o tornar, algumas vezes, fruto de suspeita. Para evitar tais consequências, o texto segue uma abordagem diferente. Ele tem como base o estudo de um dos fatores cruciais que justificam experimentalmente a Teoria do Big Bang: a expansão do universo. O estudo é centrado na Lei de Hubble, na sua interpretação e sua ligação com a Teoria do Big Bang. É feita ainda uma abordagem que torne claro como Hubble chegou nessa lei, usando como fio condutor a pergunta “como sabemos o que sabemos?”. Em outras palavras, como ele fez as medidas em seu gráfico. Para tanto, buscou-se explicar como o estudo da luz emitida pelas estrelas e galáxias permite tirar conclusões tais como a distância destes corpos até nós e sua velocidade radial.

A razão da escolha de abordagem jaz no fato de que a Lei de Hubble, bem como a maioria dos trabalhos científicos mais atuais, não é resultado de observações diretas, mas sim de observações usando métodos indiretos que proporcionam a estimativa de medidas que não são possíveis de se obter diretamente. Buscando um exemplo simples para justificar essa hipótese basta pensar no átomo. Embora ele seja bastante estudado no ensino médio em Física e Química (e até mesmo em Ciências no ensino fundamental), não é possível vê-lo com qualquer dispositivo de aumento. A imagem

moderna que temos dele vem de um conjunto de evidências experimentais organizadas de forma lógica por certos modelos que possuem coerência, estando de acordo com observações (ainda que indiretas); esta imagem sofreu diversas mudanças ao longo da história frente novas observações e mudanças de paradigma. O mesmo vale para todo o estudo das estruturas mais elementares da matéria e, por consequência, para o estudo do eletromagnetismo, que representa uma extensão considerável do ensino de Física no nível médio.

Este pode parecer um fato de pouca importância, mas para alguém que não esteja familiarizado com esse tipo de estudo, que não o compreenda como um método utilizado pelos cientistas para dar mais passos rumo ao desconhecido, a ciência parece embasada em grande parte numa questão de fé, e isso fere a essência da própria ciência. Por mais que isso seja um absurdo para todos que tenham certa familiaridade com ela, essa é a ideia que passamos aos nossos alunos quando expomos modelos determinados de forma indireta da mesma forma que expomos aqueles que podemos observar diretamente no dia a dia. E isso é ainda mais grave do que parece, visto que no ensino médio estamos formando um cidadão e não um profissional. Nosso objetivo não é que os alunos saiam das escolas como cientistas, mas sim que reconheçam o que é ciência (e que a compreendam). Ele não precisa, depois de dez anos do seu ensino médio lembrar o que é a Lei de Ohm, por exemplo, mas tem que entender que toda a estrutura elétrica que o cerca, funciona da maneira que queremos através da aplicação prática de leis como essa, organizadas de forma lógica e coerente.

3.2. Um Plano de Ensino...

Para ensinar qualquer tema escolhido em sala de aula, é importante o planejamento, com a elaboração de um plano de ensino e planos de aula. A preocupação maior do trabalho era que a apresentação do material didático reproduzisse maneiras tradicionais de ensinar.

O segundo material elaborado, portanto, foi um plano de ensino construído com base no texto. Com este plano, pretende-se resolver parte do primeiro problema, o do

novo enfoque do ensino médio: o texto não deveria ser utilizado na forma tradicional, com aulas estritamente expositivas, o que de certa forma o inutilizaria. Um aspecto não óbvio acerca das teorias ditas inovadoras, como o construtivismo de Piaget ou a aprendizagem significativa de Ausubel, é que, por envolverem aspectos metodológicos, podem ser aplicadas a praticamente qualquer material didático.

O plano de ensino não foi anterior à aplicação dos materiais em sala de aula. O texto preliminar foi apresentado em três aulas, para aferir, entre outros, como os alunos reagiriam ao tema e que aspectos seriam de maior interesse para eles. A primeira aplicação deixou a desejar – e ficou clara a necessidade de maior reflexão, e do estabelecimento de um plano de ensino a priori, pois essas aulas acabaram assumindo os moldes do ensino tradicional, por falta de fundamentação teórica para sua produção.

O tema foi abordado em três aulas. O ponto de partida era a realização de uma única apresentação, com apenas uma atividade baseada no gráfico da lei de Hubble (velocidade de afastamento versus distância das galáxias à Terra): a partir de discussões com gráficos lineares, é razoável imaginar que o gráfico de Hubble pode ser interpretado a partir da ideia de que o universo estaria em expansão. Pretendia-se com isso apontar uma possibilidade de abordar um tema relativamente moderno, bastante discutido na mídia, objeto de interesse (ainda que por pura curiosidade) dos alunos – e parte integrante do currículo da rede estadual. Não havia o interesse de defender o ensino deste tema em particular, e dificilmente um professor o escolheria para todo um período, e portanto o número de horas a ser utilizado deveria ser pequeno.

A elaboração da apresentação única esbarrou no objetivo de não apenas “divulgar” a informação da lei de Hubble, mas de discutir como a ciência avança. Portanto, tornava-se necessária a apresentação de como as medidas de velocidade de afastamento e distância foram obtidas. Ao final, foram necessárias três aulas para a discussão do material.

Para a aplicação do material, os alunos foram convidados e participaram voluntariamente (não havia previsão de recompensa em pontos na nota para os participantes). As aulas ocorreram fora dos horários normais da escola, e com isso, foram poucos os que tiveram disponibilidade para as três aulas.

A estrutura das 3 aulas conteve uma introdução ao tema e a explicação do método usado por Hubble para se medir a distância das galáxias até nós na primeira aula. Na segunda foi apresentado o método para medir a velocidade radial das galáxias usado por Hubble, e na terceira foi feita a interpretação da Lei de Hubble e a discussão de que ela fornece uma evidência experimental para a expansão do universo, e consequentemente também uma forte evidência a favor da Teoria do Big Bang. A última discussão (aula 3) foi elaborada durante muito mais tempo que as outras duas e, com isso, a participação ativa dos estudantes foi mais bem planejada.

A partir da reflexão sobre o que ocorreu em sala de aula com a aplicação do material, percebeu-se a necessidade de aprofundamento metodológico. A leitura de Moreira [Moreira 2011] forneceu bases para a preparação de um plano de ensino, com o objetivo de não reproduzir formas de ensino que levam à aprendizagem mecânica. Sem a aplicação preliminar e a reflexão sobre o que ocorrera, a leitura do artigo talvez não fornecesse significados tão claros sobre o processo de planejamento das atividades. A observação do comportamento e da reação dos estudantes à proposta do professor é fundamental, mesmo que feita do ponto de vista de um professor e não de um pesquisador em ensino. É essencial que aprendamos a avaliar nossos alunos tendo em mente também avaliarmos nosso próprio trabalho. Conhecer seu jeito de pensar e de aprender são informações cruciais, e é importante avaliar os estudos que nos interessam sob a ótica da sala de aula.

A seguir, serão discutidos alguns desses pontos, junto com uma breve descrição das aulas e conclusões que se podem tirar delas e também da reação dos alunos a elas.

3.3. Breve Descrição das Aulas

3.3.1. Aulas 1 e 2: Introdução e a medida da distância das estrelas até nós e de suas velocidades radiais

As aulas 1 e 2 tinham como objetivo principal explicar aos alunos os conceitos básicos do procedimento experimental usado por Hubble para fazer as medidas dos

gráficos publicados em 1929 e 1931 cuja equação caracteriza atualmente a lei que recebe o seu nome. Além disso, a aula 1 introduzia o tema para os alunos.

A reação dos alunos a essas duas aulas foi menos entusiástica do que se esperava, mas a razão para tanto é perfeitamente plausível. As duas aulas foram planejadas pouco tempo antes da aplicação, e foram menos interativas do que a aula 3. A primeira, que tratava mais enfaticamente do método utilizado por Hubble para medir a distância das galáxias até nós, ainda incluía uma breve atividade envolvendo a comparação do tamanho de objetos em diferentes distâncias, como forma de se obter uma analogia da questão da diminuição do brilho das estrelas com a distância até nós. Esse detalhe parece ter feito a diferença, sendo decisivo para a escolha da aula 1 como melhor do que a 2 pelos alunos. Uma das alunas escreveu que *“Eu vi uma grande diferença entre a primeira aula e a segunda, a primeira foi mais de interação”*, enquanto sua colega, a respeito da aula 1 escreveu que *“foi interessante porque em meio à explicação foram feitas perguntas que não deixavam a aula entediante”*.

3.3.2. Aula 3: A Lei de Hubble e a implicação da expansão do Universo

A aula 3 foi, sem dúvida, a mais “bem sucedida” das três. Nela foi apresentada a Lei de Hubble, foi debatida a sua interpretação e sua implicação acerca da expansão do Universo, de forma a explicitar sua conexão com a Teoria do Big Bang. A atividade proposta aos alunos foi a construção de um gráfico a partir da observação de um colega se deslocando em linha reta com a medida, a cada passada, a distância entre a posição final e o ponto de partida. Todo o processo foi conduzido com base em perguntas e questionamentos, e o gráfico foi elaborado lentamente, dentro do tempo de compreensão de cada um dos alunos.

A reação dos alunos a essa aula foi o que gostaríamos de ver em todas as três. Ficou evidente ao final da aula, e em seus “relatórios”, que esta foi uma aula que os agradou bastante. Segundo um dos alunos, *“a 3ª aula foi muito mais interessante pois a maior parte da aula foi prática e nós mesmos conseguimos entender a lei”*. Uma colega escreveu *“Gostei bastante da 3ª aula (mais que as outras duas) pelo fato de ter mais prática que as outras duas (...)”*.

3.3.3. Conclusão da aplicação das aulas

A aula 3 foi a que despertou maior interesse dos alunos, segundo eles por ter sido interativa. Segundo Moreira [Moreira 2011], aprendizagem significativa é aquela que, como o nome indica, tem significado para o aluno. Isso quer dizer que ele compreende o que estudou, entende o conceito apresentado, consegue reconhecê-lo e resolver situações problema relacionadas a ele. Difere da aprendizagem mecânica, feita maquinalmente através da memorização de termos e conceitos que, a médio e longo prazo, tendem a ser esquecidos. Simplificadamente, podemos resumir que [Moreira 2011] para alcançar a aprendizagem significativa devemos ter em foco dois pontos base: o conhecimento prévio do aluno (subsunçor), ou seja, partir do que ele sabe, como ele pensa, suas construções mentais a respeito do assunto abordado; e da elaboração de uma situação problema que o estimule, no ato de resolver o problema, a reconhecer os conceitos e termos chaves do tema abordado, que o leve a pensar mais a fundo, a uma compreensão duradoura do objeto de estudo. Em termos resumidos, que faça, em médio ou longo prazo, com que o objeto de estudo passe a ser parte integrante do subsunçor do aluno. A questão do subsunçor é o que está, ainda que implícito, no método de instrução por pares (*peer instruction*) [Mazur 1997]. Ao fazer com que os alunos discutam, mediados pelo professor, suas respostas, ele, professor, passa a ter algum acesso ao conhecimento prévio deles, sua forma de raciocinar, e como chegam à alternativa que escolheu.

A avaliação das aulas sugere que foi cometido um primeiro erro ao apresentar o tema ao invés de realizar um debate aberto sobre ele. Debates abertos custam tempo, mas cabe ao professor escolher os momentos centrais para isso de forma a alcançar a abrangência e profundidade necessárias para atingir uma aprendizagem mais eficaz. A escolha das situações problema também foi usada de forma inadequada em muitos momentos das aulas. A situação problema não é a que tradicionalmente usamos como exercício, no geral questões “fechadas” com métodos prontos para sua resolução e sem espaço para discussões e considerações mais gerais por parte dos alunos. Ela deve ser a motivadora do avanço do aluno no tema estudado. É o tipo de pergunta que provavelmente ele mesmo se faria, caso você não tivesse feito. Que ele quer de fato saber e, justamente por isso, estará ativamente pensando para tentar encontrar a solução.

Talvez o melhor exemplo que ocorreu nas aulas foi a respeito da discussão dos métodos usados por Hubble na determinação das distâncias das galáxias e suas velocidades radiais. Durante a explicação, os alunos pareciam estar compreendendo bem o passo a passo, respondendo em situações que pareciam indicar essa compreensão. Mas esta aprendizagem foi mecânica, e não deu a eles a visão do conjunto: eles não compreenderam o porquê de estarem aprendendo isso. Esse fato revelou-se ao final da aula 3. Após a atividade na qual os alunos traçaram um gráfico linear e interpretaram o que implicava o fato de o gráfico ser uma reta, foi mostrado a eles pela primeira vez o gráfico de Hubble, e eles mesmos conseguiram enxergar a proporcionalidade entre as grandezas do gráfico. Em seguida, foi feita uma discussão de como o gráfico indicava que o universo estava em expansão e como isso favorecia a ideia da Teoria do Big Bang. Esse, provavelmente o ponto mais alto da aula, foi imediatamente seguido da constatação que a discussão dos métodos das medidas foi infrutífera. Enquanto um dos alunos (que inclusive parecia ter tido uma epifania ao final da aula, ligando o gráfico de Hubble à expansão do universo e essa à Teoria do Big Bang) guardava as folhas que havia usado para traçar seu gráfico, comentou como deve ser difícil o trabalho de um cientista. Ele parecia pasmo ao refletir como foi trabalhoso montar o gráfico e como foi difícil tirar as conclusões a partir dele. Nesse momento ele perguntou, ainda refletindo, como foi possível para Hubble medir a distância a uma estrela. Pior: os outros alunos, ao ouvirem a pergunta, pararam o que estavam fazendo esperando uma resposta do professor.

A reflexão a respeito dos acontecimentos nas aulas e a reação dos alunos formaram a base para a elaboração final dos materiais aqui apresentados: um plano de ensino e uma sequência de transparências apresentadas aos alunos durante a atividade.

3.4. Um jogo

Este foi o primeiro material a ser pensado, e começou a ser preparado logo após a elaboração do texto. Tem dois objetivos centrais: permitir uma primeira análise do que os alunos já conheciam do tema (a aplicação é feita antes das aulas) e verificar, ao final do processo de ensino, o quanto os alunos se aprofundaram no conteúdo.

Há mais de um motivo para escolher um jogo para avaliar as atividades; os principais: é de interesse praticamente geral por parte dos alunos; os alunos se comportam com mais liberdade (principalmente no sentido de autenticidade) em atividades lúdicas do que em atividades mais formais; durante os jogos, todos desejam ganhar, o que garante um estímulo para o aluno, mesmo sem nenhuma recompensa explícita; e também de uma característica entre os jogos coletivos (como este, que é em grupos), o de estimular a interação social. Seu planejamento foi iniciado de forma livre, e apenas durante sua produção foram buscados artigos e livros para fundamentá-lo, mas durante todo o processo os objetivos citados permaneceram como norteadores centrais. Ao longo de sua “construção”, o jogo foi testado duas vezes (uma em sala de aula, e outra entre professores de Física e graduandos) e modificado algumas mais. Ao final, temos um jogo de tabuleiro que consiste na dedução de termos chave (ligados ao objeto de estudo, que foi dividido em quatro categorias) através de (no máximo) cinco *dicar* e cujo número de casas a ser andado é tanto maior quanto menos *dicar* são utilizadas para deduzir o termo chave em questão. Com o objetivo de completar um certo número de voltas ao longo do tabuleiro, e algumas regras adicionais que dinamizam mais o jogo, este termina com a chegada da primeira equipe ao final da última volta.

Entre os trabalhos que guiaram as modificações do jogo, destaca-se o artigo de Silva, Mettrau e Barreto [Silva, Mettrau e Barreto (2007)], que defende o uso de jogos e outros instrumentos lúdicos como fator motivacional para o processo de um ensino mais eficaz. Criticando o ensino tradicional mecânico, os autores defendem a interação do aluno com o objeto de estudo como uma base do processo de ensino-aprendizagem. Destacando os conhecimentos prévios dos alunos e questões (no caso, em forma de atividades lúdicas) que o motivem a interagir com o objeto de estudo de forma consciente e reflexiva, em contrapartida à repetição mecânica, a ideia central do trabalho acaba concordando em grande parte com a ideia da aprendizagem significativa de Ausubel [Moreira 2011]. Esses elementos nortearam as modificações feitas no jogo a fim de que esse pudesse proporcionar elementos como entusiasmo, concentração e motivação.

Durante o jogo, cabe ao professor intermediar as discussões entre os integrantes dos grupos com o objetivo de, ao início, avaliar o conhecimento prévio dos alunos

acerca do tema, e, na aplicação ao final do ciclo do estudo, incentivar a discussão dos temas estudados. Quando jogado nesta última situação, o jogo inclui uma rodada na qual os próprios alunos propõem termos-chaves e desenvolvem as dicas referentes a eles. Esta é uma etapa que tem a intenção de fazê-los refletir de forma mais ativa em relação ao conhecimento estudado. Nesta etapa cabe ao professor mediar mais de perto a atividade a fim de guiar as discussões entre os integrantes dos grupos. A principal intenção aqui é impedir uma participação meramente passiva dos jogadores, o que não seria diferente do que é feito no ensino mecânico tão criticado. É recomendável que esta etapa seja feita apenas em uma aplicação posterior ao ciclo de estudo.

No que se refere às duas aplicações feitas para se testar o jogo, embora uma delas tenha sido registrada, não será feita uma maior discussão, pois o objetivo foi o de verificar se o jogo estava funcional e do interesse que ele despertava nos estudantes.

3.5. Conclusão

Os materiais descritos neste capítulo encontram-se nos apêndices. Embora tenham sido elaborados com o mesmo objetivo, eles não são complementares; cabe ao professor escolher qual ou quais utilizar.

No capítulo seguinte é feita a discussão da Lei de Hubble. Pretende-se com ela fundamentar a escolha deste tópico para a discussão da Teoria do Big Bang no ensino médio. Além de um breve contexto do trabalho de Hubble, procura-se na discussão abordar um pouco do método utilizado por ele para se medir a distância às galáxias e suas respectivas velocidades radiais e evidenciar como esta lei é coerente com a ideia de um universo em expansão.

Capítulo 4. Lei de Hubble

No Capítulo 2 foi feito um rápido relato sobre a situação do ensino médio brasileiro, sobretudo no que diz respeito às mudanças previstas nos seus objetivos de formação. Essas mudanças exigiram do professor não apenas um trabalho em novo formato para os antigos conteúdos, mas também a inclusão de tópicos mais atuais; e pode-se dizer que esse processo ainda apresenta alguns insucessos. Um dos exemplos deste insucesso no nível médio no estado do Rio de Janeiro é a apresentação do Modelo Padrão da Cosmologia.

Este trabalho apresenta uma sugestão de abordagem deste tema mais próximo dos novos objetivos de formação. Foram elaborados materiais didáticos, descritos no capítulo 3, que têm por base o estudo da Lei de Hubble como alicerce da abordagem do Modelo Padrão da Cosmologia, sendo essa lei apresentada como uma evidência experimental da expansão do universo e, portanto, uma forte evidência a favor do Modelo Padrão da Cosmologia.

Neste capítulo faz-se uma breve descrição da Lei de Hubble, sua interpretação, suas implicações e discute-se sua elaboração. Essa descrição tem como objetivo fundamentar a escolha da referida lei como enfoque central na abordagem do Modelo Padrão da Cosmologia para o ensino médio.

4.1. O Contexto do Surgimento da Lei de Hubble

Como a maioria das descobertas científicas, a ideia de um universo em expansão seguiu por dois caminhos, um teórico e um experimental.

O estudo teórico precedeu o experimental, tendo começado, em certo sentido, em 1915 [Einstein 1915 apud Waga 2015]. Neste ano, Albert Einstein publicou seu trabalho sobre a Teoria da Relatividade Geral e, em 1917, propôs um modelo

cosmológico baseado em sua teoria. Como, em grande escala, o universo é regido pela força atrativa da gravidade, Einstein introduziu em seu trabalho uma constante, denominada constante cosmológica, que balanceava a força atrativa, tornando o universo estático. Embora a adição desse termo tenha sido mal vista pelo próprio Einstein devido à sua origem não natural, o universo à época parecia de fato estático (ou, pelo menos, não parecia colapsar), o que tornava o modelo concordante com as observações.

Em 1917, o astrônomo e cosmólogo holandês Willem de Sitter também publicou três trabalhos que propunham um modelo de universo baseado na Teoria da Relatividade Geral. O trabalho de de Sitter mostrava a existência de outras soluções da Relatividade Geral, ou seja, outras possibilidades de universos. O universo de de Sitter, estático usando a constante cosmológica, não possuía matéria, o que poderia ser interpretado como um universo de densidade extremamente baixa. É interessante notar que pode-se pensar que a famosa relação conhecida como Lei de Hubble teve sua origem aparente no trabalho de de Sitter. Em seu modelo de universo, as partículas, aleatoriamente espalhadas, apresentam velocidades que aumentam com a distância. Essa propriedade passou a ser conhecida como “efeito de Sitter”. Ela explicava os desvios para o vermelho no espectro das nebulosas espirais observado pelo astrônomo norte americano Vesto M. Slipher alguns anos antes.

As primeiras sugestões teóricas de um universo em expansão vieram, de forma independente, do matemático russo Aleksandr Friedmann e do cosmólogo belga Georges Lemaître. Friedmann publicou dois artigos, um em 1922 e outro em 1924, sobre diferentes possibilidades de modelos de universo, obtidos a partir da Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Até esta época, o universo era pensado como sendo estático e eterno. A abordagem de Friedmann propunha a possibilidade de um universo dinâmico. Embora o trabalho de Friedmann apresentasse um caráter mais matemático, ele implicava uma interpretação inteiramente nova do universo, e, apesar de Friedmann não ter aprofundado a interpretação de suas possibilidades de universos dinâmicos, estava, como hoje sabemos, no caminho certo. Curiosamente, Einstein refutou, inicialmente, o artigo de Friedmann, tendo escrito uma carta para o periódico científico que publicara o artigo alegando a existência de um erro matemático no trabalho. Os

cálculos de Friedmann, porém, estavam corretos, e Einstein retratou-se ao constatar a correção.

Friedmann não pode dar continuidade a seu trabalho, tendo falecido em 1925, mas a ideia de um universo dinâmico voltou a ser considerada por Lemaître em 1927. Buscando desenvolver seu próprio modelo cosmológico, Lemaître, sem saber que Friedmann já havia seguido esse caminho alguns anos antes, redescobriu os modelos que descreviam um universo em expansão, também partindo das equações de Einstein da Relatividade Geral. Lemaître, porém, aprofundou a interpretação física de um universo em expansão. Ele teria sido o primeiro a pensar que, se o universo cresce e evolui, ele teve um aparente começo, em que era muito menor do que é hoje [Nature 1931]. E viu que essa interpretação implicava em um momento de criação. Em seu trabalho, afirmou que o universo teria começado em uma região pequena e compacta a partir da qual expandiu-se e evoluiu até chegar ao ponto em que está hoje, acrescentando que este continuaria a evoluir no futuro.

No caminho experimental, podem ser identificados dois pontos chave que culminaram na determinação da Lei de Hubble. Em 1912, Henrietta Leavitt, computadora¹ voluntária no Harvard College Observatory, obteve uma relação entre a luminosidade média emitida e o período de oscilação do brilho aparente de uma estrela do tipo cefeida. Essa descoberta foi de extrema importância, pois a partir dela era possível estimar a distância de uma cefeida até nós, já que o fluxo de energia observado de um corpo incandescente diminui com o quadrado da distância. Ao medir o período de oscilação do brilho de uma cefeida e com a determinação de sua luminosidade média, é possível estimar sua distância comparando o seu brilho aparente com o seu brilho intrínseco (ou seja, a luminosidade média emitida por ela). Passou a ser possível determinar a distância de objetos celestes incrivelmente distantes do Sistema Solar, como as galáxias (que na época não eram conhecidas como galáxias, sendo chamadas nebulosas), desde que elas possuíssem uma cefeida.

Também em 1912 Slipher percebeu que as linhas espectrais de Andrômeda estavam deslocadas para o azul. Medindo o desvio das linhas ele estimou a sua

¹ Computador era um termo utilizado na época para descrever pessoas que manipulavam dados e faziam cálculos.

velocidade radial em relação a nós, sendo o primeiro astrônomo a fazer tal determinação. Em 1923, Slipher já havia determinado a velocidade de 41 nebulosas. Destas, apenas 5 (incluindo Andrômeda) se aproximavam de nós. Estes foram os desvios explicados pelo “efeito de Sitter”.

Em 1927, Lemaître apresentou na quinta Conferência de Solvay, em Bruxelas, um trabalho que sugeria a relação linear entre a velocidade radial das galáxias e suas respectivas distâncias. Em 1928, H. Robertson, usando as velocidades obtidas por Slipher e dados de distância de galáxias publicados por Hubble, também encontra uma relação aproximadamente linear entre velocidade e distância. Não é certo se Hubble conhecia a publicação de Robertson, mas um fato curioso é que tanto Hubble quanto Lemaître participaram em 1928 do terceiro encontro da IAU (International Astronomical Union), ocorrido na Holanda. Segundo o assistente de Hubble, Milton Humason, foi justamente ao retornar deste encontro que Hubble sugeriu a ele que investigassem uma relação entre a distância e a velocidade radial das galáxias, pois no encontro alguns astrônomos mencionaram o fato de a velocidade radial de uma galáxia ser tão maior quanto maior a sua distância a nós [van den Bergh, 2011]. Embora seja possível que Hubble não tivesse tomado conhecimento da publicação de Lemaître de 1927, já que estava redigida em francês e não obteve repercussões imediatas, é um mistério se Hubble e Lemaître discutiram ou não a questão na Holanda durante o terceiro encontro da IAU. O interessante é que o resultado do Hubble de 1929 não difere muito do publicado por Lemaître em 1927, e que Hubble estava presente na Conferência de Solvay de 1927. Em todo caso, Hubble, em 1931, aperfeiçoando e ampliando suas medidas de distância, e usando medidas de desvio para o vermelho de Milton Humason, obtendo 40 medidas de velocidades radiais inéditas em relação ao seu trabalho anterior, valida sem sombra de dúvida a lei de proporcionalidade da velocidade de afastamento de uma galáxia com sua distância ao Sistema Solar.

4.2. Hubble e a “Descoberta” das Galáxias

Edwin Powell Hubble foi um astrônomo norte americano nascido em 1889 em uma família de classe média, tendo sido estimulado para a Astronomia por seu avô materno. Em 1906 Hubble começou seus estudos universitários na Universidade de Chicago, em 1910 foi para a Inglaterra estudar ciências jurídicas na Universidade de Oxford e em 1914 retornou à Universidade de Chicago, onde defendeu sua Tese de Doutorado em Astronomia. Em 1918, Hubble foi para a França onde lutou na Primeira Guerra Mundial como major. Em 1919 voltou para os Estados Unidos, onde foi contratado para trabalhar no Observatório do Monte Wilson. Foi neste observatório que Hubble realizou duas de suas maiores descobertas: a de que as nebulosas eram galáxias e a determinação da linearidade entre as distâncias e as velocidades das galáxias em seu trabalho modernamente denominado Lei de Hubble. Nesta seção discutiremos a primeira destas duas.

No início do Século XX, não se conhecia a natureza das chamadas nebulosas espirais. Há os que sugeriam que elas eram galáxias, assim como a nossa Via-Láctea, enquanto outros defendiam a ideia de que elas eram sistemas de estrelas localizados dentro na nossa própria galáxia. Hubble decidiu esta questão medindo a distância da galáxia de Andrômeda até nós, usando para isso o método desenvolvido por Leavitt.

Leavitt foi uma grande estudiosa de estrelas variáveis, tendo adquirido interesse especial pelas cefeidas, um tipo de estrela que se destaca por duas características. A primeira é que elas são estrelas variáveis, ou seja, o brilho emitido por elas varia com o passar do tempo e de forma periódica. A segunda é o fato de a variação do seu brilho possuir uma forma assimétrica, possuindo tempos diferentes de aumento e diminuição de seu brilho. A figura 4.1 apresenta o gráfico de variação no brilho da estrela do tipo cefeida Delta do Cefeu. Para efeito de comparação, é mostrado na figura 4.2 o gráfico similar de uma estrela variável com variação simétrica. Trata-se da estrela Algol.

O trabalho de Leavitt possibilitou a criação de um método de medida de distância a essas estrelas. Isso porque Leavitt conseguiu encontrar uma relação matemática entre o brilho médio que uma cefeida emite e o período de oscilação deste

brilho ao analisar um grupo de cefeidas localizadas na formação estelar conhecida como Pequena Nuvem de Magalhães, como apresentado na figura 4.3.

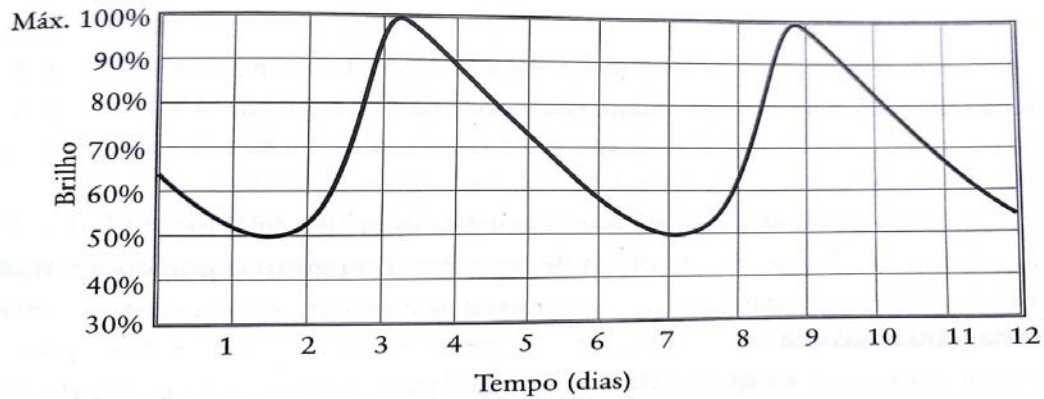


Figura 4.1. Gráfico da variação do brilho da estrela Delta do Cefeu. O eixo horizontal representa o tempo e o eixo vertical a porcentagem do brilho [Singh 2006].

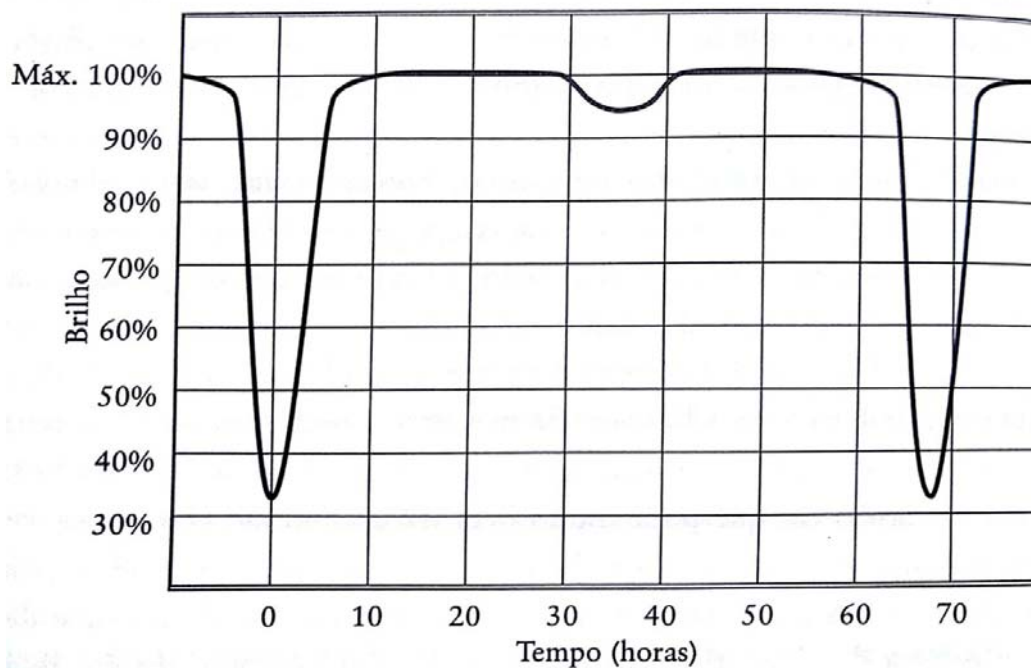


Figura 4.2. Gráfico da variação do brilho da estrela Algol [Singh 2006].

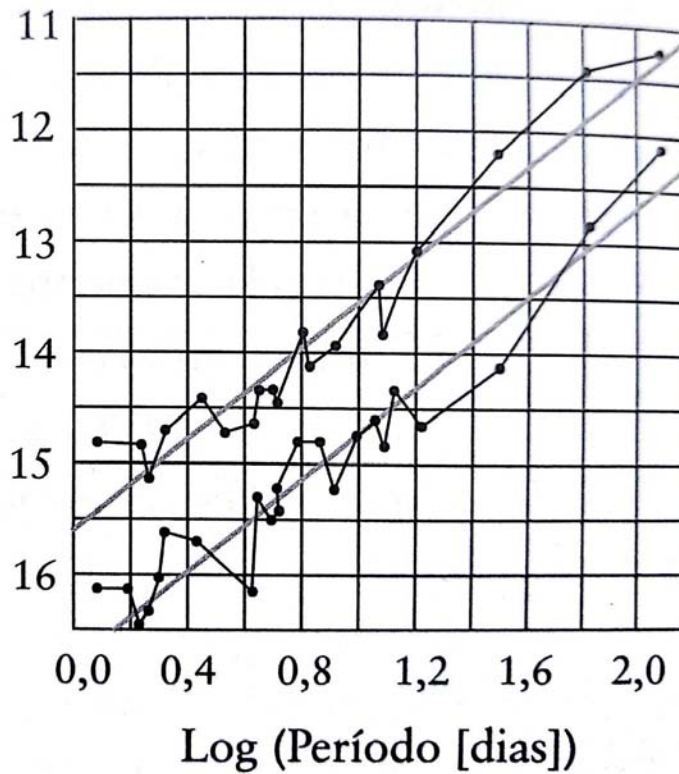


Figura 4.3. Gráfico do brilho em função do período das cefeidas da Pequena Nuvem de Magalhães em escala logarítmica [Singh 2006].

Como o fluxo de energia observado de uma estrela cai com o quadrado da distância, era possível determinar a distância a uma cefeida da seguinte forma: media-se o período de oscilação do brilho aparente de uma cefeida, determinava-se com essa medida a luminosidade média emitida por ela (seu brilho intrínseco) e o comparava com o fluxo de energia observado aqui na Terra (seu brilho aparente).

Hubble, ao analisar a nebulosa de Andrômeda, encontrou uma estrela do tipo cefeida nela. Utilizando o método de Leavitt, Hubble pôde determinar a distância de Andrômeda até a nossa Via-Láctea, e verificar que essa era uma galáxia como a nossa, visto que ela estava numa distância muito maior que o limite de nossa própria galáxia. Hubble resolveu desta forma a questão da natureza das nebulosas espirais.

4.3. A Lei de Hubble

A luz é um dos objetos de estudo mais antigos da humanidade. Diversas interpretações já foram dadas na tentativa de explicar corretamente os diversos fenômenos associados a ela.

O estudo da luz por meio de um prisma foi feito por muitos cientistas, entre eles Isaac Newton. Após deixar passar um feixe da luz do Sol em um prisma, Newton compreendeu que a luz branca é composta pelas cores do arco-íris. Ele mostrou isso recombinando os feixes de luz separados pelo prisma em um anteparo, tendo como resultado a luz branca que havia incidido inicialmente no prisma. Newton percebeu que cada cor era desviada de forma diferente ao atravessar o prisma, e por isso ela era dividida na imagem composta pelas mesmas faixas de cores do arco-íris. A decomposição da luz por um prisma foi apenas um de muitos passos no estudo da luz. Com o passar do tempo, o prisma foi substituído por outros instrumentos ópticos, como a rede de difração, por exemplo. Ela é conveniente pois fornece mais informações sobre a luz que a atravessa do que um prisma. O fato é que, através de suas pesquisas, Newton entendeu que a luz branca se dividia ao passar pelo prisma em sete cores numa imagem contínua como a representada na figura 4.4. Ou seja, segundo Newton, essas sete cores (denominadas primárias) juntas formavam o branco.

Com o passar do tempo e o avanço da tecnologia, aparatos experimentais mais potentes permitiram o avanço desse estudo, de modo que outros cientistas conseguiram perceber alguns detalhes do espectro solar que na época de Newton passaram despercebidos. O cientista inglês William Wollaston, por exemplo, percebeu umas listras escuras no espectro solar, como é mostrado na figura 4.5. Posteriormente, o fabricante de lentes alemão Joseph von Fraunhofer, embora não tenha conseguido explicar o porquê da existência dessas listras, fez um estudo minucioso a respeito delas, as tendo catalogado.

Utilizando o mesmo método de Newton para analisar a luz do Sol, o físico escocês Thomas Melvill analisou, em 1752, a luz emitida pela chama da queima de certas substâncias. A forma da luz refratada pelo prisma não se apresentava mais como

um espectro contínuo, mas sim como um espectro discreto. Ou seja, a imagem visualizada por Melvill foi a de uma sequência de “linhas” de luz, como na figura 4.6.



Figura 4.4. Espectro contínuo.



Figura 4.5. Espectro contínuo com as listras escuras encontradas por Fraunhofer.

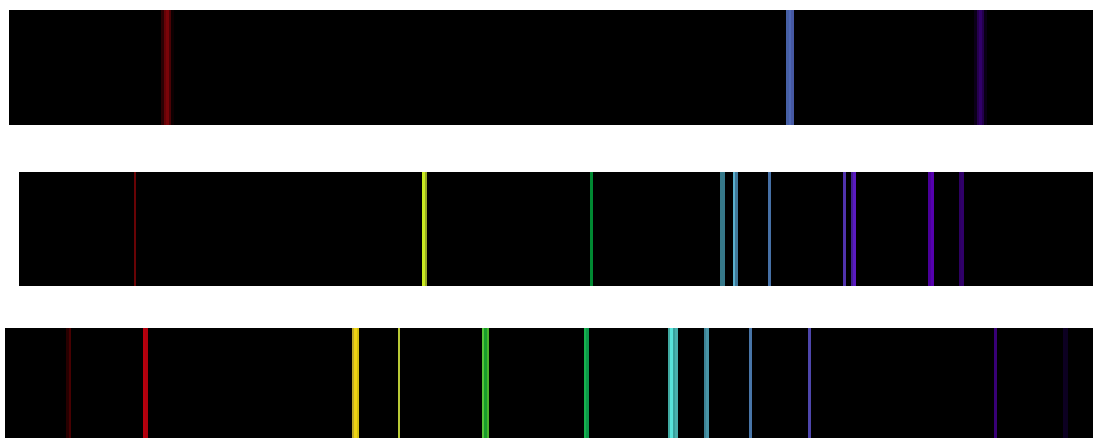


Figura 4.6. Imagens de espectros discretos

Em 1826 o astrônomo inglês John Herschel percebeu que estes espectros forneciam uma espécie de impressão digital da substância colocada na chama, pois cada substância apresentava um espectro. Assim, sempre que o experimento fosse feito com uma dada substância, ela apresentaria a mesma imagem no anteparo. E, se uma substância desconhecida fosse encontrada, para identificá-la bastava visualizar o seu espectro e compará-lo com o de amostras conhecidas. Hoje em dia essas linhas recebem o nome de espectro de emissão e são usualmente obtidas pela passagem de uma corrente elétrica em um tubo contendo a substância a ser analisada no estado gasoso. Apesar

disso, o efeito é essencialmente o mesmo do método utilizado por Melvill. O primeiro espectro da figura 4.6, por exemplo, é obtido quando o gás dentro do tubo é o hidrogênio. O segundo e o terceiro são, respectivamente, Hélio e Carbono. Se uma amostra contiver os três tipos de gás, a imagem resultante será uma superposição dos três espectros da figura 4.6.

É desnecessário enfatizar o quanto esse método representou um avanço para a Química. Porém não foi só essa ciência a beneficiada por ele. Os astrônomos perceberam o quão valioso ele era para a sua própria área de estudo. Com ele, era possível fazer algo que anteriormente se imaginava impossível: analisar a composição química das estrelas. Considerando que, simplificada, elas podem ser vistas como uma grande bola de gás incandescente, podemos analisar a sua luz, decifrando de que são feitas. E isso ocorreu graças aos esforços do físico alemão Gustav Kirchhoff que compreendeu a existência das linhas escuras no espectro solar. Ele elaborou três leis a respeito da emissão contínua (com e sem listras escuras) e discreta dos espectros. Para o nosso objetivo, basta compreendermos (embora seja uma simplificação que oculta alguns aspectos acerca do processo de emissão e absorção de luz) que as listras escuras no espectro das estrelas ocupam as mesmas posições que as linhas dos espectros discretos ocupariam caso as submetessem ao método acima citado. Assim, se uma estrela é composta apenas de hidrogênio, ao analisarmos o seu espectro, encontraremos a mesma imagem da figura 4.4, porém com três linhas escuras localizadas na mesma posição que as linhas coloridas na imagem do espectro discreto do hidrogênio (primeira imagem da figura 4.6).

O nome atual dessa área de estudo é espectroscopia, e ela é feita utilizando um dispositivo chamado de espectrômetro. Esse nome vem do termo espectro, pois hoje sabemos que a luz é apenas uma pequena fração de todo espectro eletromagnético existente. A cor da luz é um estímulo visual associado à frequência dela. Mas nossos olhos, como todo instrumento de medida (no caso, um instrumento óptico) possui limitações. Assim, só enxergamos uma faixa dentre todas as frequências possíveis. Com o passar do tempo, outras frequências da radiação eletromagnética foram detectadas, e a figura que criamos a partir da ordenação das frequências da luz se torna a indicada na figura 4.7 (desta vez em ordem crescente de comprimento de onda):

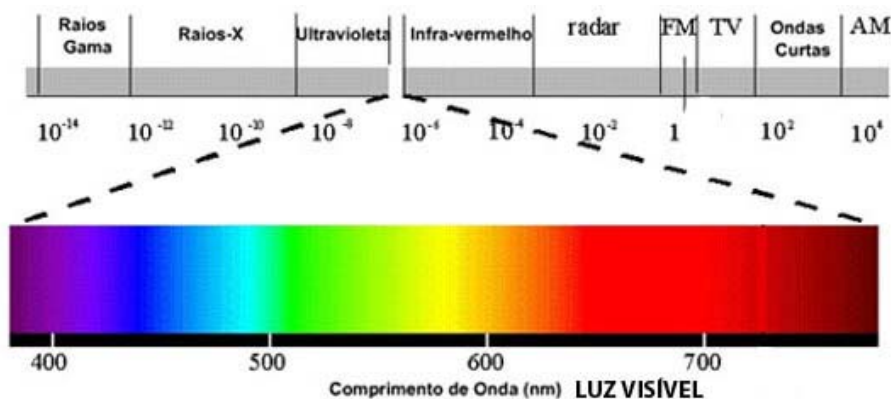


Figura 4.7. Espectro eletromagnético apresentado em ordem crescente de comprimento de onda.

A análise química das estrelas, que por si só já representou um gigantesco avanço para astronomia, não foi o único avanço possibilitado pelo estudo dos espectros delas. Esse estudo permitiu determinar a velocidade radial das estrelas (ou das galáxias, no caso de Hubble), graças aos estudos feitos pelo físico e matemático austríaco Johann Christian Andreas Doppler.

Em 1842, Doppler publicou um trabalho na qual anunciava a descoberta do fenômeno que hoje leva o seu nome, o efeito Doppler. Esse é o nome dado à mudança na frequência de uma onda devida ao movimento relativo entre a fonte da onda e o observador. No caso do som, a frequência está associada ao que os leigos costumam denominar “altura” do som: sons graves têm frequências baixas e sons agudos têm frequências altas. Assim, o efeito Doppler explica porque o som da sirene de uma ambulância muda drasticamente quando ela passa por nós, mudando de um som agudo para um grave. Ao se aproximar, há um aumento na frequência da onda sonora emitida pela sirene da ambulância, o que nos faz perceber um tom mais agudo. Assim que a ambulância passa a se afastar, há uma redução da frequência dessa onda sonora, que é caracterizada por um tom grave. Este efeito é mais facilmente percebido nas corridas de Fórmula 1, pois os carros atingem velocidades muito superiores às tipicamente alcançadas pelas ambulâncias, o que acentua bastante a mudança de frequência devida ao efeito Doppler.

No caso da onda luminosa, a frequência está associada, na faixa do visível, à sua cor. Em relação às cores do arco-íris, as mais próximas do vermelho são as cores de

menor frequência, e as próximas ao violeta são as de frequência mais elevadas, como indicado na figura 4.7. Quando uma estrela se move radialmente em relação a nós, a frequência da luz emitida por ela muda devido ao efeito Doppler, e tal mudança é percebida em suas linhas espectrais. Caso ela esteja se aproximando, há um aumento na frequência, e portanto há um desvio de suas linhas espectrais para a região azul do espectro (desvio para o azul); caso contrário, há uma redução na frequência da luz, e o deslocamento se dá no sentido da região do vermelho (desvio para o vermelho). Assim, se analisarmos o espectro de uma estrela com a mesma composição química que o Sol e esta se afaste de nós, a imagem observada seria parecida com a figura 4.5, porém suas linhas estariam deslocadas para a esquerda. Quanto maior a velocidade com que ela se afaste, maior o deslocamento das linhas espectrais. Conhecendo o deslocamento é possível determinar a velocidade de afastamento da estrela através da seguinte expressão [Harrison, 2000]:

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{1 + \frac{V}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \quad (4.1)$$

onde λ é o comprimento de onda da luz emitida pela fonte, λ_0 é o comprimento de onda observado, c é a velocidade da luz e V é a velocidade relativa entre a fonte da onda e o observador.

A expressão (4.1) expressa a componente radial do caso geral da expressão da equação Fizeau-Doppler original. Ela utiliza a cinemática com correções relativísticas, sendo válida para qualquer situação. Para os casos em que V assumam valores significativamente menores do que a velocidade da luz, pelo menos 10% de seu valor, ou seja, menores que 3.000 Km/s, a expressão (4.1) se resume a

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} \approx 1 + \frac{V}{c} \quad (4.2)$$

conhecida como equação Fizeau-Doppler. No trabalho de Hubble de 1929 as galáxias mais distantes possuíam velocidades na ordem de grandeza de 1000 km/s, portanto a

equação (4.2) era perfeitamente válida para o seu gráfico. Já em seu trabalho de 1931, Hubble analisou o espectro de galáxias muito mais distantes: a ordem da velocidade de afastamento das galáxias mais afastadas era da ordem de 20.000 km/s. Nesses casos, a equação (4.2) não é mais válida, sendo necessário utilizar a equação (4.1).

O desvio para o vermelho medido no espectro das estrelas é definido como o aumento relativo do comprimento de onda:

$$z := \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda} \approx \frac{V}{c} \quad (4.3)$$

e

$$V \approx c \cdot z \quad (4.4)$$

Robertson, em seu trabalho de 1928, mostrou que os desvios para o vermelho do trabalho de Slipher e as publicações de distância feitos por Hubble apontavam para uma relação linear entre desvio para o vermelho e distância,

$$z \cdot c \approx H \cdot d \quad (4.5)$$

onde d é a distância até a galáxia, e H é a hoje chamada constante de Hubble. Como a constante de Hubble muda com o passar do tempo, é comum usar o termo H_0 para designar a constante de Hubble no presente.

Usando uma equação equivalente a (4.4), Robertson encontrou a lei de proporcionalidade entre distância e velocidade:

$$V = H \cdot d \quad (4.6)$$

Ou seja, quanto maior a distância entre nós e uma galáxia, maior será a velocidade com que esta se afasta de nós. Se encontrarmos duas galáxias, uma delas duas vezes mais distante que a outra, ela deve se mover duas vezes mais rápido que a galáxia mais próxima de nós.

A expressão (4.6), entretanto, só é válida para pequenas distâncias ou pequenos desvios para o vermelho. No trabalho de Hubble de 1929, as galáxias mais afastadas

possuíam distâncias entre seis e sete milhões de anos luz. Para estes valores (e mesmo para valores maiores), a lei é válida. Na equação (4.6), H é uma constante e V é a velocidade da fonte no momento da emissão, ou seja, no passado do observador. Já a Lei de Hubble escrita como

$$V(t) = H(t) \cdot d(t) \quad (4.7)$$

é válida sempre.

Existem algumas diferenças entre as equações (4.6) e (4.7). Para começar, as variáveis da equação (4.7) são todas tomadas no mesmo instante. Além disso, enquanto H da equação (4.6) é uma constante, $H(t)$ é uma função do tempo, denominada parâmetro de Hubble, visto que o termo constante não se aplica. A constante de Hubble é o parâmetro de Hubble para o momento presente.

Outra diferença está no significado físico da distância. Hubble determinou a distância às galáxias utilizando o método de Leavitt das cefeidas. Neste caso, a distância obtida é denominada distância-luminosidade. Essa nomenclatura se aplica aos casos em que a distância é determinada pelas denominadas “Velas Padrão”. No caso do trabalho de Hubble, as “Velas Padrão” seriam as cefeidas. Outro exemplo são as supernovas tipo Ia, que foram usadas na determinação, em 1998, de que a expansão do universo é acelerada [Fróes 2014]. A definição de distância-luminosidade vem da definição de fluxo de uma fonte luminosa. Conforme mencionado, o fluxo de energia observado de uma estrela, dado pela equação

$$f = \frac{L}{4\pi(d_L)^2} \quad (4.8)$$

cai com o quadrado da distância. Isolando o termo d_L da equação (4.8) encontramos a definição da distância-luminosidade

$$d_L = \sqrt{\frac{L}{4\pi f}} \quad (4.9)$$

Essa grandeza é obtida no momento da emissão da luz, o que quer dizer que no instante em que a medimos ela não corresponde ao valor de distância atual, visto que

durante o intervalo de tempo que a luz emitida levou para chegar a nós o espaço entre a Terra e a fonte luminosa se expandiu, e conseqüentemente a distância entre elas aumentou.

A distância que aparece na equação (4.7) é denominada distância própria. A distância própria pode ser definida operacionalmente como a soma das distâncias de um número infinitamente grande de emissores/detectores de luz bem próximos uns dos outros enfileirados radialmente ligando a galáxia (cuja distância será determinada) a nós de forma que todos estejam com relógios sincronizados e calibrados para que emitam simultaneamente um feixe de luz para o seu vizinho. De forma mais concreta, podemos definir a distância própria $D_P(t)$ entre dois observadores como o comprimento da geodésica (do ponto de vista prático, a curva de menor comprimento que une dois pontos) do tipo espacial, C , que liga esses dois observadores no instante t considerando todos os pontos em um mesmo instante de tempo.

Embora a distância própria não seja uma distância observável, é provavelmente a mais próxima da nossa noção de distância. Pode ser relacionada a outra definição de distância em cosmologia, a distância comóvel. Essa definição de distância (que é observável) pode ser obtida com o conhecimento do valor atual do fator de escala, uma grandeza física que mede as variações nas escalas produzidas pela expansão do universo comparando a distância entre dois corpos em instantes distintos. A relação entre essas duas definições de distâncias é dada pela seguinte equação

$$D_P(t_{obs}) = \frac{1}{1+z_{obs}} D_C \quad (4.10)$$

onde z_{obs} é o desvio para o vermelho medido no presente pelo observador. A distância comóvel pode ser entendida como a distância própria no instante em que é feita a medida de z_{obs} , ou seja, no presente do observador.

Outra questão interessante é a discussão do parâmetro velocidade que aparece na Lei de Hubble. Ela é denominada velocidade de recessão, e não é exatamente o que estamos acostumados a pensar como velocidade. A velocidade como usualmente pensamos é o deslocamento de um corpo ao longo do espaço com o passar do tempo. Se esta fosse a velocidade que aparece na Lei de Hubble, haveria uma incompatibilidade

entre ela e a Teoria da Relatividade Restrita, segundo a qual há um limite para a velocidade que um corpo pode alcançar. A princípio, nada pode alcançar a velocidade da luz no vácuo, que se move à $3 \cdot 10^8$ m/s. Da equação (4.6) vemos que, para um valor suficientemente grande da distância d , usualmente chamado de raio de Hubble, V assumiria o valor da velocidade da luz. De fato,

$$d = \frac{c}{H} \rightarrow V = H \cdot \frac{c}{H} \rightarrow V = c$$

o que aparenta contradizer a Teoria da Relatividade Restrita. De fato, V pode assumir este ou mesmo valores maiores, isso porque a velocidade na Lei de Hubble não é um deslocamento através do espaço no decorrer do tempo; é um deslocamento devido à expansão do espaço. Assim, podemos pensar nas coordenadas das galáxias do gráfico de Hubble como fixas, e que o espaço entre elas é o que está aumentando. As galáxias, neste caso, não se deslocam ao longo do espaço. A velocidade de recessão decorre da expansão do universo, podendo a princípio ser infinita, não violando por isso a Teoria da Relatividade Restrita.

4.4. A Lei de Hubble e a Expansão do Universo

A Lei de Hubble então representa a comprovação experimental da expansão do universo. A linearidade entre distância e velocidade de afastamento das galáxias é compatível com a expansão de um universo homogêneo (todos os pontos são equivalentes) e isotrópico (todas as direções são equivalentes). Observe a figura 4.8, por exemplo.

Se pensarmos nas imagens das esferas como três bolas de gude presas a uma superfície elástica, teremos uma analogia que permite averiguar a compatibilidade entre a Lei de Hubble e a expansão do universo. Imaginando a expansão como igual em todos os pontos (é nesse sentido que dizemos que o universo é homogêneo e isotrópico), vemos que, ao ser puxado, o elástico faz com que tanto A quanto C se afastem de B.

Como as distâncias AB e BC são iguais antes da expansão, elas sempre serão iguais. Assim, se A se afastou de B uma distância d , C também se afastou de B uma distância d . Logo, C se afastou de A uma distância $2d$ no mesmo intervalo de tempo. Portanto, se chamarmos de v a velocidade de afastamento de B em relação a A, a velocidade de afastamento de C em relação a A será $2v$.

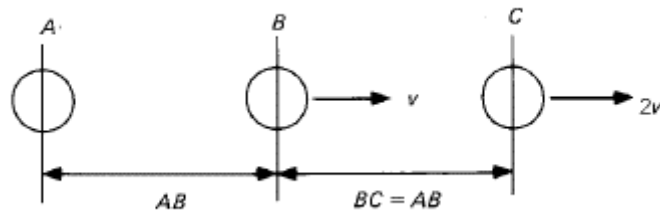


Figura 4.8. Três corpos que se separam devido ao aumento de espaço entre eles. A distância entre A e B é igual a distância entre B e C.

Há um motivo porém para esse tipo de imagem não ser usada para se explicar a expansão do universo. Ela, como toda analogia, tem suas limitações, e a principal desta é sugerir que há um ponto central no universo (no caso, seria a bolinha de gude B). Não há um centro do universo, ou, dito de outra forma, todos os pontos são centros. A clássica imagem do balão (figura 4.9) é mais comumente utilizada pois ela exemplifica de modo muito simples esse ponto, que vem da homogeneidade e da isotropia do universo. Entretanto, ela também possui algumas limitações e algumas considerações devem ser feitas a respeito dela.

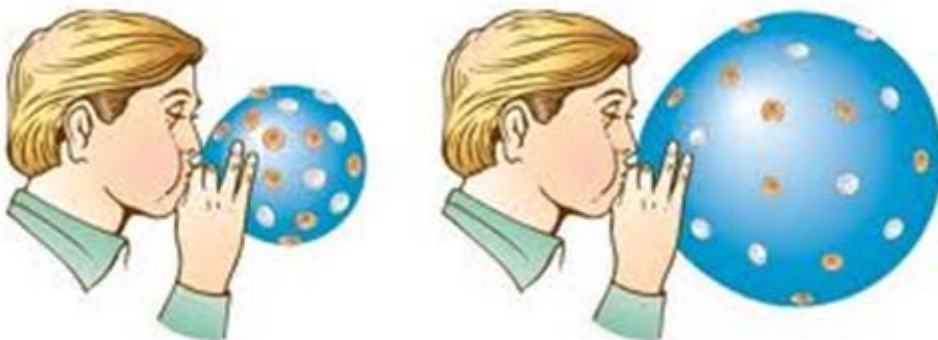


Figura 4.9. Analogia da expansão do universo.

Ao pensarmos no balão como sendo o universo, o primeiro ponto que se deve deixar claro é que estamos nos referindo à superfície do balão. O interior do balão não existe, e muito menos o menino que o sopra, assim como qualquer outra coisa além dele. Os pontos no balão que representam as galáxias devem ser objetos rígidos (como moedas por exemplo), e não marcas pintadas sobre o balão. Isso porque os desenhos feitos no balão aumentarão de tamanho conforme o balão se expande, o que não ocorre com as galáxias. A expansão só é percebida em grandes escalas, sendo desprezível para distâncias menores, na qual o movimento local dos corpos no espaço se faz mais presente. É por esse motivo que nem todas as galáxias, por exemplo, se afastam de nós. Usando o mesmo raciocínio utilizado no exemplo da figura 4.8, temos o benefício de, no exemplo do balão, podermos adotar qualquer um dos pontos marcados. Em qualquer perspectiva veremos sempre a mesma imagem, todos os pontos se afastando de nós, e o afastamento ser tanto mais rápido quanto maior for a distância do ponto referência ao ponto que se afasta. É nesse sentido que dizemos que todos os pontos são centrais.

4.5. Conclusão

Procurou-se neste capítulo fundamentar a escolha da Lei de Hubble como uma abordagem alternativa para discutir o Modelo Padrão da Cosmologia no ensino médio. Para tanto uma breve descrição desta e de seu contexto foi apresentada ao longo do capítulo.

Por ser uma evidência experimental da expansão do universo, esta lei permite uma discussão embasada do Modelo Padrão da Cosmologia, apoiado na pergunta motivadora da produção deste trabalho “Como sabemos o que sabemos?”. Por se tratar de uma equação linear, a Lei de Hubble pode ser discutida com mais facilidade no ensino médio sem necessidade de grandes requisitos para se estudar o tema por parte dos alunos.

Nos apêndices deste trabalho há dois textos escritos com o objetivo de se trabalhar com os alunos deste nível essa abordagem: um texto introdutório de Astronomia e outro sobre a “construção” e a interpretação da Lei de Hubble.

Capítulo 5. Considerações Finais

Este trabalho surgiu da dificuldade de se ensinar temas relativamente modernos de Física no nível médio. Há indicações, tanto nos currículos dos sistemas escolares quanto nas pesquisas em ensino, para a inclusão destes tópicos, mas os professores da educação básica têm deficiências em formação nesses temas e os materiais didáticos acessíveis são poucos. O trabalho consistiu na produção de materiais didáticos de auxílio ao professor para apresentar aos alunos um dos objetos de estudo desenvolvido no século XX, a Teoria do Big Bang.

As leituras que fundamentaram este trabalho podem ser divididas em dois assuntos principais: a importância do estudo de tópicos da Física Moderna e Contemporânea no nível médio e a necessidade de fazê-lo sem o uso de metodologias que resultem em aprendizagem mecânica. A reflexão acerca desses dois assuntos teve como resultado a elaboração dos materiais.

Um dos objetivos dos materiais apresentados é possibilitar a discussão da Teoria do Big Bang no ensino médio de forma que fique implícito neste estudo a visão do que é uma ciência, de seu “funcionamento”, sua forma de evoluir e sua importância para nossa sociedade atual. A principal discussão pode ser expressa resumidamente na questão “como sabemos o que sabemos?”. Escolheu-se como foco central o estudo da Lei de Hubble, então, apresentando-a como evidência da expansão do universo e, por isso mesmo, uma das “provas” da Teoria do Big Bang. Para tornar ainda mais claras as reflexões acerca da natureza da ciência, foram discutidos também os procedimentos experimentais utilizados por Hubble para que esse traçasse o gráfico característico da lei que leva o seu nome.

Para lidar com a questão de não utilizar metodologias que estimulem a aprendizagem mecânica e que constituam-se em materiais potencialmente significativos, elaborou-se um plano de ensino fundamentado na leitura de Moreira [Moreira 2011]. Além disso, foi desenvolvida uma atividade avaliativa no formato de

um jogo. A descrição mais detalhada dos materiais e de como se deu a elaboração destes, bem como a descrição de um dos testes feitos em sala de aula no processo de elaboração, são apresentadas no Capítulo 3. As leituras e os autores que fundamentaram a sua elaboração foram apresentados no Capítulo 2.

No que diz respeito ao uso dos materiais, mesmo sendo eles planejados sob a ótica da formação geral do cidadão, e que se tenham buscado metodologias diferenciadas, é, antes de tudo, em sua aplicação que elas poderão ser classificadas como tradicionais ou não. A compartimentalização das informações, o estudo passivo (por parte dos alunos) de um objeto de estudo e a memorização mecânica dos tópicos são características associadas também à forma como um material didático é utilizado, e não apenas ao material em si. Isso tornou-se evidente em aplicações em aulas nos quais foram testados. Os materiais foram elaborados na tentativa de serem flexíveis, para que seja possível adequá-los à realidade do local onde ele é trabalhado. Ressalte-se que esses materiais, sobretudo o texto, apresentam possibilidades não aprofundadas que, embora consideradas ricas para exploração em sala de aula, não receberam mais destaque por fugir do foco principal do trabalho. Apesar disso, elas foram mantidas como um incentivo ao seu aprofundamento e como sugestão de possibilidades a explorar.

Espera-se que este trabalho e estes materiais possam auxiliar os professores do nível médio no ensino deste tema. É evidente que este é apenas um pequeno passo no atual cenário de ensino, um dos passos iniciais a se pensar para as configurações de atuação docente pretendidas.

Referências

- [Aguiar 2010] Aguiar, Ricardo Rechi. Tópicos de Astrofísica e Cosmologia: uma aplicação de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Dissertação de Mestrado, USP, 2010
- [Araújo 2013] Araújo, I.S., Instrução Pelos Colegas e Ensino Sob Medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.30, n.2, p.362-384, 2013.
- [Arons 1997] Arons, A.B. *Teaching Introductory Physics*, 1 st edition, John Wiley, New York, 1997.
- [Barroso, Rubini e Massunaga 2015] Barroso, M.F.; Rubini, G.; Massunaga, M.S.O. Nota Técnica LIMC 01/2015: Estudo dos Resultados do ENEM: O Desempenho Global dos Estudantes Concluintes na Prova de Ciências da Natureza nos Exames de 2009 a 2012. Disponível em <http://www.if.ufrj.br/~marta/limc-notastecnicas/limc-nt-15-01.pdf>. Acesso em 15/01/2016.
- [DCN 1998] Brasil, MEC-Ministério da Educação, Conselho Nacional de Educação, 1998.
- [Dias 2009] Dias A., Medindo a Velocidade de um Fórmula 1 com o Efeito Doppler, *Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Vitória, 2009; Disponível em <http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/anais/2009snef/MarcoAdrianoT0092-1.pdf>. Acesso em out.2015.
- [Dominguini 2012] Dominguini, L. Novas Abordagens do Conteúdo Física Moderna no Ensino Médio Público do Brasil, *IX Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul*, 2012, Rio Grande do Sul. Disponível em <<http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/anpedsul/9anpedsul/paper/viewFile/653/534>>. Acesso em Janeiro de 2015
- [Duane apud Dias, Sapunarú 2008] Dias, Penha Maria Cardozo; Sapunarú, R.A., História da Física I – Formação das categorias do pensamento em Física (século XI a.C. – século XVII d.C.), 2008, págs. 6 e 7. Disponível em <http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/material_didatico/2008/historia_fisica_1.pdf> Acesso em fev.2015.
- [Duarte 2013] Duarte, L.P.A.A., Estudo de um item do ENEM 2009, Projeto de instrumentação de final de curso, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- [Duarte et al 2013] Duarte, L.P.A.A.; Barroso, M.F.; Gonçalves Jr., W.P., Estudo de um Item Quantitativo na Prova de Física do ENEM, *XX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF*. São Paulo, 2013. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.or.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0455-1.pdf>>. Acesso em Fevereiro de 2015

- [Einstein 1915 apud Waga 2015] Waga, I., comunicação privada. Colóquio apresentado em 26/11/2015 no IF – UFRJ. Albert Einstein, Gesamtsitzung, vom. 4. November 1915.
- [Froes 2014] Froés, A. L. D. Astronomia, astrofísica e cosmologia para o Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, 3504 (2014)
- [Fuke e Yamamoto 2010] Fuke, L. F.; Yamamoto, K. Física para o ensino médio. Livro do Professor. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.
- [Gonçalves Filho e Toscano 2010] Gonçalves Filho, A.; Toscano, C. Física e realidade. Livro do Professor. São Paulo: Scipione, 2010.
- [Gonçalves Jr e Barroso 2012] Gonçalves Junior, W. P.; Barroso, M. F., ENEM: os itens e o desempenho do estudantes em 2009. In: XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2012, Maresias. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.or.br/eventos/epf/xiv/sys/resumos/T0110-1.pdf>> Acesso em Fevereiro de 2015
- [Guthrie apud Dias, Sapunaru 2008] Dias, Penha Maria Cardozo; Sapunaru, R.A., História da Física I – Formação das categorias do pensamento em Física (século XI a.C. – século XVII d.C.), 2008, pág. 6. Disponível em <http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/material_didatico/2008/historia_fisica_1.pdf> Acesso em fev.2015.
- [Harrison 2000] E. Harrison, The Science of the Universe, 2 nd edition, Cambridge University Press, New York, 2000.
- [Hubble 1929 apud Waga 2015] Waga, I., comunicação privada. Colóquio apresentado em 26/11/2015 no IF – UFRJ. Edwin Hubble, “A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extra-galactic Nebulae”, Proceedings of the National Academy of Science, 15, 168-173, 1929.
- [I.B. Cohen apud Dias, Sapunaru 2008] Dias, Penha M. C.; Sapunaru, R.A., História da Física I – Formação das categorias do pensamento em Física (séc.XI a.C.– séc. XVII d.C.), 2008, págs. 90 e 91. Disponível em <http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/material_didatico/2008/historia_fisica_1.pdf> Acesso em fev.2015.
- [Kaufmann, 1973] Willian J. Kaufmann, Relativity and Cosmology, 1 st edition, New York, Joanna Cotler Books, 1973.
- [Kawamura e Hossoume 2003] KAWAMURA, Maria Regina Dubeaux; HOSSOUME, Yassuko, A Contribuição da Física para um novo ensino médio. Física na Escola, v. 4, n.2, 2003.
- [LDB 1996] BRASIL. Senado Federal. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional: nº 9394/96. Brasília : 1996. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/res0398.pdf>> Acesso em fev.2015.

- [Mazur 1997] E. Mazur, *Peer Instruction A User's Manual*, 1st edition, Prentice Hall, New Jersey, 1997.
- [Menezes 2000] Menezes, Luiz Carlos, *Uma Física para o Novo Ensino Médio, Física na Escola*, v. 1, n.1, 2000.
- [Moreira 2011] M.A. Moreira, *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS, Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review – V1(2)*, pp. 43-63, 2011; versão em português disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>>. Acesso em set.2015.
- [Moreira e Osterman 2000] Moreira, Marco A.; Osterman, Fernanda, *Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no ensino médio"*, *Investigações em Ensino de Ciências*, vol.5 (n.1), pp. 23-48, 2000.
- [Moreira e Veit 2010] M.A. Moreira; Veit. E.A., *Ensino Superior: Bases Teóricas e Metodológicas*, 1^a edição, Editora EPU, São Paulo, 2010.
- [Nature 1931] G. Lemaître. "The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory". *Nature*, v. 127 n. 3210, may/1931. Disponível em <<http://www.nature.com/nature/journal/v127/n3210/full/127706b0.html#top>> . Acesso em mar.2016.
- [Nussenzveig 2002] Nussenzveig, H. M, *Curso de Física Básica Vol. 1*, 1^a edição, editora Blücher, São Paulo, 2002.
- [Ostermann e Moreira 2000] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores*, *Anais do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Florianópolis, 2000; Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6676/6144>> . Acesso em fev.2015.
- [PCNs 2000] BRASIL. Ministério da Educação. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Brasília: MEC/SEB, 2000. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro01.pdf>> Acesso em jan.2015.
- [Pereira e Ostermann 2009] Pereira, Alexsandro P.; Ostermann, Fernanda, *Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente*, *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 14 (n. 3), pp. 393-420, 2009.
- [Pietrocola et al 2010] PIETROCOLA, M.; et al. *Física em contextos: pessoal, social e histórico*. Livro do Professor. São Paulo: FTD, 2010.
- [Santos Gouw 2013] Santos Gouw, Ana Maria, *As opiniões, interesses e atitudes dos jovens brasileiros frente à ciência: uma avaliação em âmbito nacional*, Tese de Doutorado, USP, 2013.

- [SBF 2005] SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA. Física para o Brasil: pensando o futuro: o desenvolvimento da Física e sua inserção na vida social e econômica do país. 2005. P. 56-60.
- [SEEDUC-RJ 2012] RIO DE JANEIRO, Currículo Mínimo, Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 17 de janeiro de 2011. Disponível em < <http://conexoescola.rj.gov.br/curriculo-basico/fisica>>. Acesso em jan. de 2016.
- [Silva, Mettrau e Barreto 2007] Alcina Maria Testa Braz da Silva; Marsyl Bulkoou Mettrau; Márcia Simão Linhares Barreto. “O lúdico no processo de ensino-aprendizagem das ciências”. *Revista brasileira de Estudos pedagógicos, Brasília*, v.88, n.220, p. 445-458 setembro/dezembro. 2007.
- [Singh 2006] Singh, Simon, Big Bang, 1ª edição (traduzida), Record, Rio de Janeiro, 2006.
- [Sjöberg e Schreiner 2010] SJÖBERG, Svein; SCHREINER, Camilla, The ROSE Project: an overview and key findings, University of Oslo, 2010, disponível em <http://roseproject.no/network/countries/norway/eng/nor-Sjoberg-Schreiner-overview-2010.pdf>. Acesso em janeiro de 2016
- [Stannard 1990 apud Dominguini 2010] DOMINGUINI, L. O Conteúdo Física Moderna nos livros didáticos do PNLEM. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em educação da Universidade do Extremo Sul Catarinense (PPGEUNESC). Criciúma, 2010. Disponível em <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_ação=&co_obra=177727> Acesso em mar.2015.
- [Tolentino Neto 2008] Tolentino Neto, Luiz Caldeira Brant de, Os interesses e posturas de jovens alunos frente às ciências: resultados do Projeto ROSE aplicado no Brasil, Tese de Doutorado, Faculdade de Educação, USP, 2008.
- [Torres, Ferraro e Soares 2010] TORRES, C. M.; FERRARO, N. G. SOARES, P. A. T. Física: ciência e tecnologia. Livro do Professor.2.ed. São Paulo: Moderna, 2010.
- [Turnbull 1960 apud Dias, Sapunaru 2008] Dias, Penha Maria Cardozo; Sapunaru, R.A., História da Física I – Formação das categorias do pensamento em Física (século XI a.C. – século XVII d.C.), 2008, pág. 91. Disponível em <http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/material_didatico/2008/historia_fisica_1.pdf> Acesso em fev.2015.
- [van den Bergh, 2011] Discovery of the Expansion of the Universe, Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Vol. 105, No. 5, p.197, 2011.
- [Waga 2000] Waga, Ioav. “A Expansão do Universo”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol.22, n.2, p. 163-175. Junho/2000.
- [Waga 2005] Waga, I., Cem anos de descobertas em Cosmologia e novos desafios para o século XXI, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.27, n.1, p.157-173,2005.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

A LEI DE HUBBLE

Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte

Ioav Waga

Marta Feijó Barroso

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
02/2016

A Lei de Hubble

Este apêndice apresenta um texto com uma sugestão de abordagem para discutir a Teoria do Big Bang no ensino médio através do estudo da Lei de Hubble. O texto foi escrito de forma a auxiliar um professor de Física do ensino médio, mas que se necessário possa ser trabalhado diretamente com os alunos.

A Teoria do Big Bang é o nome dado ao atual modelo cosmológico, ou seja, modelo que explica o “funcionamento” do universo, sua origem e evolução. O uso da expressão “Teoria do Big Bang” não é bem aceito entre os físicos especializados, que preferem a maior precisão dada por “Modelo Padrão da Cosmologia”, mas a expressão popularizou-se entre o público em geral.

O texto se inicia com uma introdução breve a respeito do que é uma ciência, apresenta alguns dos primeiros modelos cosmológicos e aborda alguns estudos precursores da Teoria do Big Bang. Após isso, o texto tem como foco a Lei de Hubble. É discutido o procedimento experimental para obtenção da Lei de Hubble (como Hubble determinou as distâncias às galáxias e suas velocidades radiais) e também a interpretação de seu resultado, apresentando seu trabalho como a comprovação da expansão do universo, sendo portanto uma das evidências a favor da Teoria do Big Bang.

Durante sua elaboração procurou-se ter como pano de fundo a discussão do que é uma ciência, como ela “funciona” e evolui, quais as consequências de seus avanços, e outras questões semelhantes, usando como fio condutor a pergunta “como sabemos o que sabemos?”.

Introdução



Figura A.1. “Celestial Fireworks”¹

A figura A.1 apresenta uma fotografia tirada pelo telescópio espacial Hubble da NASA em comemoração aos 25 anos do lançamento do telescópio (24 de abril de 1990). Desde então, o telescópio Hubble vem contribuindo por meio das imagens captadas por ele na exploração do Sistema Solar e mesmo muito além deste. A imagem mostra o “nascimento” de jovens estrelas, e o nome dado a ela (Fogos de artifício celestial) é uma referência à comemoração do aniversário. Essa fotografia exemplifica perfeitamente o porquê do fascínio do homem pelo espaço sideral ser tão antigo e também o fato de ter sido um de seus primeiros objetos de estudo (tendo sido tão antigo quanto o avanço do intelecto humano o permitiu). De fato, é difícil imaginar que você tenha simplesmente passado o seu olho pela imagem sem apreciá-la por alguns instantes. Mais difícil ainda é imaginar este cenário “ao vivo” sendo ignorado mesmo

¹ Disponível em <<https://www.nasa.gov/image-feature/celestial-fireworks>> Acesso em dez. 2015

pelo mais ocupado e insensível dos homens. Bom, é evidente, considerando sua fonte, que essa imagem especificamente não seria vista a olho nu, mas imagens igualmente bonitas são tiradas por fotógrafos aqui mesmo da Terra, como as figuras A.2 e A.3.



Figura A.2. Alpes suíços



Figura A.3. Parque Estadual dos Três Picos – Friburgo - RJ²

Assim, constatamos o que todo observador que tenha dedicado um mínimo de tempo a olhar o céu noturno (ou fotografias deste) já sabe: as imagens também são

² Disponível em <<http://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2014/10/friburgo-rj-e-uma-das-10-melhores-cidades-para-observar-estrelas.html>> Acesso em mar.2016.

estonteantes vistas aqui da Terra. O que elas duas têm em comum? O fato de ambas terem sido tiradas em regiões elevadas e relativamente longe de quaisquer centros urbanos, de forma a evitar poluição luminosa. Assim é fácil compreender o porque não vemos um céu destes em nosso dia a dia em geral. E, embora não desejemos isso a ninguém, a próxima vez que faltar luz à noite em sua cidade, ou ao menos em seu bairro, note o quanto o céu estará mais parecido com a foto da figura A.3 do que quando as luzes da cidade estão acesas. Embora provavelmente nessa situação você estará mais preocupado em procurar lanternas ou velas e ligar para a companhia que fornece energia elétrica para sua cidade do que em olhar para o céu, esse pensamento certamente já deve ter passado pela cabeça de muitos. Ao menos passou na cabeça do fotógrafo francês Thierry Cohen que desenvolveu uma série de imagens denominadas “Darkned Cities”, que revela como seria o céu noturno de grandes cidades caso não houvesse luz elétrica e poluição. Para isso Cohen, através do processo de montagem, combinou imagens de grandes cidades com o céu noturno de lugares distantes de quaisquer grandes civilizações. Seu trabalho inclui imagens de Paris, Nova York, Tóquio, Los Angeles, Shangai, Hong Kong, São Francisco e mesmo de cidades brasileiras incluindo São Paulo, Rio de Janeiro e Niterói. Nas figuras A.4 e A.5 vemos as fotos do Rio de Janeiro e de Niterói, respectivamente.

Embora as figuras não representem o que de fato veríamos, elas nos dão uma noção do quão estonteante seria a imagem visualizada.

Mais uma vez, é perfeitamente compreensível que o céu noturno tenha sido alvo da análise de tantos povos antigos e que, depois de tanto observar, o homem tenha tentado compreender o funcionamento do universo. Como este texto trata de uma lei natural que consiste numa importante evidencia experimental de um dos modelos que tentam descrever o universo, investiremos algumas páginas analisando outras tentativas de descrever o universo, todas precedendo a atual.



Figura A.4. Rio de Janeiro³



Figura A.5. Niterói⁴

³ Disponível em < <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/01/fotografo-simula-como-seria-ceu-de-cidades-sem-luz-em-darkened-cities.html> > Acesso em mar.2016.

⁴ Disponível em < <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/01/fotografo-simula-como-seria-ceu-de-cidades-sem-luz-em-darkened-cities.html> > Acesso em mar.2016.

A Grécia Antiga

O “nascido” da ciência

Ao estudar a História da Física, ou de outras ciências, é comum que nosso ponto de partida seja a Grécia Antiga. Talvez uma pergunta que (espera-se) muitos devem ter feito é o porquê dessa convergência. Os gregos antigos coexistiram com diversos outros povos dos quais a cultura e, por extensão alguma contribuição intelectual, influenciaram os povos posteriores e até mesmo os da atualidade, tais como os egípcios, persas, mesopotâmios, para não falar nos povos que os precederam. É de se estranhar que todo o crédito recaia para um só povo. O que os caracteriza como a “linha de partida” do conhecimento humano? Foi de fato desse povo que originou-se todo o conhecimento atual? É quase óbvio que a resposta para essa pergunta é não. O conhecimento não surgiu da Grécia Antiga, pois este povo já era organizado e possuía, assim como os outros povos citados (por vezes até mais do que os gregos), noções de agricultura, economia, geometria, entre outras informações concernentes ao conhecimento humano sobre a natureza. Começamos o estudo das Histórias das Ciências pela Grécia antiga, pois o estudo trata do início da Ciência em questão, e não do início do conhecimento do que ela se propõe a estudar, o que não é a mesma coisa. A questão é um tanto quanto confusa, e nos remete a perguntas que ainda hoje possuem respostas (ou tentativas de respostas) que não convergem entre os pesquisadores da História da Filosofia, tais como “Quando um conjunto de conhecimentos constitui uma ciência?”. Tal assunto requereria muito mais atenção do que a tratada neste texto, fugindo do tema principal deste. Façamos então um breve apanhado desta questão com o fim de compreendermos o porquê de começarmos nosso retrospecto de modelos cosmológicos com o modelo de um grego da antiguidade.

As palavras Ciência e cientista, por incrível que pareça, são terminologias relativamente modernas. A palavra cientista foi criada pelo polímata vitoriano William Whewell, que a usou pela primeira vez em março de 1834. A palavra é uma variação do Latim “scientia”, que significa “conhecimento”, e o termo foi utilizado para designar aqueles que antes eram usualmente chamados de Filósofos Naturais⁵. Segundo o

⁵ Simon Singh, *Big Bang*. Primeira edição (traduzida), Editora Record, Rio de Janeiro, 2006.

dicionário Aurélio, Ciência é definida como “*Conjunto de conhecimentos fundados sobre princípios certos. Saber, instrução, conhecimentos vastos...*”. Embora as duas definições estejam relacionadas, a segunda não está totalmente de acordo com a primeira. Afinal, os povos contemporâneos aos antigos gregos (e mesmo os antecessores a eles) possuíam considerável grau de saber, instrução e conhecimentos vastos, tal como a geometria dos egípcios ou as observações astronômicas dos babilônios. O que diferencia o conhecimento desses povos e o dos gregos, diferença essa que caracteriza os saberes gregos com o que de fato se entende como ciência, é o fato destes (os gregos) terem se preocupado com as causas dos fenômenos, ao invés de apenas usá-los. Assim, enquanto os conhecimentos dos outros povos tinham um caráter mais prático, os gregos se perguntavam por que os fenômenos estudados ocorriam. Segundo Guthrie⁶:

“Aqui está a diferença fundamental entre eles [as civilizações mais antigas] e os Gregos. Os Gregos perguntara ‘Por que?’ e esse interesse em causas leva imediatamente a mais demandas: A demanda por generalização. O Egípcio sabe que o fogo é um instrumento útil. Ele tornará seus tijolos duros e duráveis, aquecerá sua casa, modificará areia em vidro, criará aço temperado e extrairá metais do minério. Ele [o egípcio] faz essas coisas e se contenta em aproveitar os resultados em cada caso. Mas se, como os Gregos, você pergunta por que a mesma coisa, o fogo, faz todas essas coisas diferentes, então você não mais está pensando separadamente o fogo que é aceso em fornos de tijolo, nas lareiras e o fogo na oficina do ferreiro. Você começa a perguntar qual é a natureza do fogo, em geral: Quais são as propriedades do fogo? O progresso em [fazer] generalizações mais altas constitui a essência do novo passo tomado pelos Gregos. Os métodos dos Babilônios têm um caráter algébrico e mostra que estavam cientes de certas regras algébricas, mas [. . .] “nenhuma tentativa foi feita para generalizar os resultados”[Guthrie cita outro autor]. Os Egípcios pensavam na geometria como uma questão de terras retangulares ou triangulares. Os Gregos a tiram do plano concreto e material e começam a pensar nos próprios retângulos e triângulos, que têm a mesma propriedade, estejam em campos de muitos acres ou em peças de madeira ou tecido de poucas polegadas ou, simplesmente, representados por linhas traçadas na areia.”

Já tratar a questão do porquê desse conhecimento ter se originado na Grécia e não em outros povos é um tema igualmente complexo, e de natureza mais social. Assim como no caso de “o quê de fato pode ser chamado de ciência?”, temos diferentes

⁶ Guthrie, citado no texto de Penha M. C. Dias e Raquel A. Sapunaru, *História da Física I – Formação das categorias do pensamento em Física (século XI a.C. – Século XVII d.C.)*, 2008. Disponível em [HTTP: www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/material_didatico/2008/historia_fisica_1.pdf](http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/material_didatico/2008/historia_fisica_1.pdf).

respostas por diferentes estudiosos, não sendo todas consensuais. Segundo o historiador George Sarton, citado no mesmo texto anterior, a ciência grega nasceu na Jônia (uma colônia grega) por esta ser um “terreno fértil a informações” devido (entre outras causas) a sua posição geográfica que:

“(…) era um lugar excelente para a mistura de ideias e culturas e o estímulo resultante. Na medida em que as pessoas ficam estagnadas em suas vilas ancestrais, elas não se perguntam muitas questões, pois cada pergunta foi feita e respondida um número de vezes e não há propósito em ficar se preocupando com elas. Pelo contrário, quando pessoas de diferentes raças e com tradições diferentes se agrupam, cedo ou tarde, ocorre aos mais inteligentes [no sentido de Sarton, pessoas individuais, não grupos] que há mais de um modo de se olhar para as coisas e de resolver problemas.”

O que tem bastante sentido quando consideramos a posição da Jônia no século VI A.C., rodeada pelo Egito, pela Pérsia e o caminho para a Mesopotâmia. Já para outro autor, Duanne Roller, também citado no texto de Dias e Saponaru, os gregos foram motivados a compreender a natureza pelo fato de, segundo sua cultura, seus deuses, que personificavam a natureza, agiam como humanos, trapaceavam, discutiam, se enfureciam, se alegravam, etc. Sendo assim, era possível entendê-los e, por extensão, compreender o funcionamento da natureza.

Ainda que tenhamos diversas correntes de pensamento a definir o que é ciência e por quê ela surgiu, o fato é que em grande parte elas concordam que seu começo se deu na Grécia Antiga, sendo a evidência mais antiga a ser encontrada no século VI a.C., onde foi criada uma nomenclatura para designar a natureza, e, posteriormente, para designar o próprio estudo dessa. A seguir, veremos então o que se considera o primeiro modelo cosmológico, o modelo de Aristóteles.

O Modelo Aristotélico

Aristóteles foi um filósofo da Grécia antiga, que viveu entre os séculos IV e III A.C., e cujos estudos (e a crítica a eles) foram a base da formação das categorias do pensamento em Física, tendo influenciado o mundo por quase dois milênios (sobretudo à Europa medieval), segundo as autoras já citados Dias e Sapunaru. A ele é associado o primeiro modelo cosmológico. Denominamos aqui de modelo cosmológico um modelo científico que explique a origem, a evolução e o funcionamento do universo, visto que antes de Aristóteles, como já foi mencionado, os babilônios já possuíam dados astronômicos incrivelmente precisos, que inclusive foram utilizados por Cláudio Ptolomeu, que viveu aproximadamente 400 anos depois de Aristóteles, para este desenvolver seu próprio modelo. Aristóteles foi o primeiro, então, a criar um modelo que tentava explicar o funcionamento do universo. A figura A.6 representa um esquema bem simplificado do modelo Aristotélico.

Primeiramente vemos que seu modelo era Geocêntrico, isto é, era um modelo no qual a Terra ocupava uma posição central (era o centro do universo), o que era perfeitamente plausível para a época visto que, do ponto de vista daqui da Terra, tudo parece girar em torno de nós. Repare ainda que, além da chamada esfera das estrelas, camada que ficava mais afastada de nós, o universo aristotélico era composto apenas pela própria Terra, pelo Sol, a Lua, Mercúrio, Marte, Vênus, Júpiter e Saturno, não sendo conhecidos ainda os planetas Urano e Netuno e os diversos astros menores do sistema Solar. Mas um modelo envolve, além da observação, uma justificativa, e o porquê de a Terra estar no centro, segundo Aristóteles, é um tanto curioso, e está ligado ao sistema filosófico que o próprio desenvolveu. Segundo Aristóteles, o universo podia ser dividido em Sublunar e Supralunar. O primeiro, imperfeito, perecível, o segundo, perfeito, eterno. Aristóteles adotou a teoria de um antecessor seu, Empédocles, no qual o mundo sublunar era composto de quatro elementos primordiais, a água, a terra, o fogo e o ar, tendo cada um o seu “lugar natural”, de acordo com a sua natureza. Tudo mais (incluindo nós) teria uma certa proporção desses quatro elementos, cuja natureza também estava associada a duas qualidades a lhes caracterizar. De modo simples, podemos dividir os elementos e suas qualidades de acordo com a figura A.7 (embora Empédocles tenha “dividido” essas características em predominante e “secundária”).

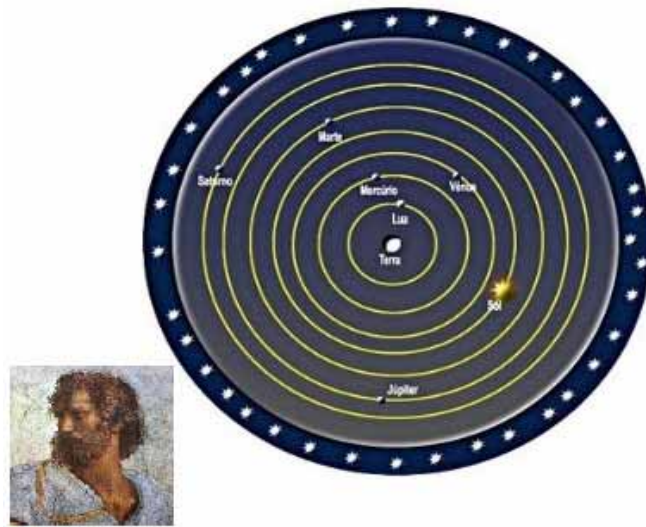


Figura A.6. Aristóteles (no canto) e um esquema simplificado de seu modelo cosmológico.⁷

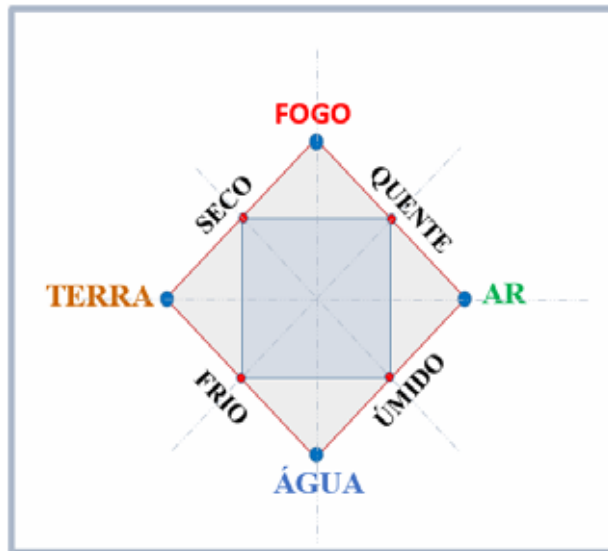


Figura A.7. Elementos primordiais (segundo Aristóteles) e suas qualidades.

A posição dos corpos depende então do tipo de material de que é feito. A terra por ser mais “pesada”, possui seu lugar natural mais abaixo do que os outros três elementos. Acima dela se encontra a água, depois o ar e por fim o fogo. Assim, se largamos uma pedra num lago essa afunda porque seu lugar natural é abaixo da água, e se assopramos bolhas de ar em baixo da água elas sobem por que o lugar natural do ar é acima da água. O fogo, que sempre “sobe”, tenta constantemente ficar em seu lugar natural, acima dos outros elementos. Seguindo esse raciocínio, se um corpo afunda na

⁷ Disponível em < http://www.portaldoastronomo.org/tema_pag.php?id=38&pag=2>.

água, é porque sua composição é em maior parte do elemento terra, se ele flutua, sua composição deve conter bastante ar. Como a terra é o elemento que fica abaixo de todos os outros, o planeta Terra resulta da “queda” de toda terra para o centro do universo.

Já o mundo supralunar era composto de um quinto elemento, o éter. Este era perfeito, e o movimento do mundo supralunar caracterizava essa sua perfeição. Para Aristóteles, o movimento podia ser caracterizado como natural ou violento. O violento era causado por forças que podiam retirar os corpos de seu lugar natural. O natural era um movimento “dos próprios corpos”, para voltar ao seu lugar natural. Assim, se erguemos uma pedra do chão, esta realizou um movimento violento, e quando está é solta, ela volta para seu lugar natural através do movimento natural. Ao chegar a seu lugar, o corpo para. O estado natural dos corpos é então o repouso, sendo este uma característica associada à perfeição, enquanto o movimento é associado à imperfeição. O mundo supralunar era perfeito, e embora este estivesse sempre em movimento, seu movimento era “especial”, perfeito, eterno, por ser um movimento circular uniforme (para os gregos antigos). Assim, não importava o fato de os corpos supralunares estarem em movimento já que seu movimento era equivalente a estar parados. Afinal, depois de um ciclo, você volta para o mesmo lugar.

O modelo Ptolomaico

Cláudio Ptolomeu foi um grego nascido no século II D.C., e que contribuiu profundamente para Astronomia, tendo organizado um modelo em sua obra denominada “Almagesto” (que significa “o maior de todos”) que consiste no maior tratado de Astronomia de toda a Antiguidade, segundo Dias e Sapunaru . O seu modelo, apesar de ainda estar ligado à antiga filosofia grega, sobretudo no aspecto de perfeição do movimento circular, responde a muitos dos problemas que seus antecessores não conseguiram. Na verdade, em certo sentido, seu modelo tentava “salvar” essa noção grega, conciliando-a com o que era observado (e que estava em aparente contradição com ela). Podemos apontar três desses problemas, todos concernentes aos planetas do Sistema Solar: primeiro, os planetas, ao longo de seu movimento anual, sofriam retrogradações (“davam marcha ré”) em certos trechos, e isso obviamente não

correspondia a um movimento circular (muito menos uniforme). Na figura A.8, vemos em vermelho a órbita de Marte vista aqui da Terra, constatando esse fato. Segundo, o “brilho” dos planetas variava no decorrer do ano, o que indicava uma maior proximidade (ou afastamento) dos planetas em relação à nós, observação também incompatível com um movimento circular. Terceiro, o tempo entre duas retrogradações sucessivas de um planeta varia.

O modelo de Ptolomeu explicava esses problemas em termos de movimentos circulares uniformes. E, embora não tenha sido ele à propor todos os “esquemas” que explicavam essas anomalias, ele organizou as informações acumuladas até sua época, modificou alguns desses parâmetros e acrescentou outro, que deixava seu modelo mais de acordo com os resultados observacionais, sobretudo no que se refere ao terceiro problema mencionado acima.

A explicação do movimento retrógrado e da variação do brilho dos planetas, preservando os movimentos “perfeitos” circulares foi feito através do seguinte artifício: O movimento dos planetas pode ser descrito como um círculo (chamado epiciclo) cujo centro também realiza um movimento circular (este segundo círculo recebe o nome de deferente). O centro do deferente é ocupado pela própria Terra. Esse esquema está exemplificado na figura A.9. Na figura A.10 temos uma imagem “completa” do Sistema Solar segundo esse esquema simplificado.

O artifício acima mencionado é uma versão simplificada do modelo de Ptolomeu, visto que apenas ele não consegue explicar a variação do tempo entre duas retrogradações sucessivas de um planeta. Para resolver esse problema foi adicionado pelos gregos uma excentricidade. Se a Terra não ocupar o centro do Deferente, estando “ligeiramente” deslocada em relação a este, o movimento do epiciclo pode ser considerado uniforme, não do ponto de vista da Terra, mas sim do centro do deferente. O modelo final de Ptolomeu contém ainda outra excentricidade, o chamado ponto equante, uma contribuição original do próprio Ptolomeu que melhora o modelo de forma que este fique ainda mais em conformidade com os dados observacionais. Esse esquema pode ser visto na figura A.11.



Figura A.8. Retrogradação dos planetas (Kaufmann, p.56). A figura mostra (em vermelho) uma retrogradação de Marte entre os meses de janeiro e março.

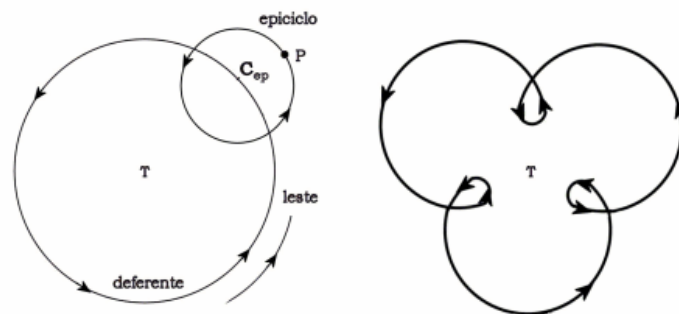


Figura A.9. A figura à esquerda é o modelo do epiciclo e do deferente simplificado. A figura da direita é o movimento resultante, visto da Terra; a figura é fechada, só se os períodos do epiciclo e do planeta forem comensuráveis.

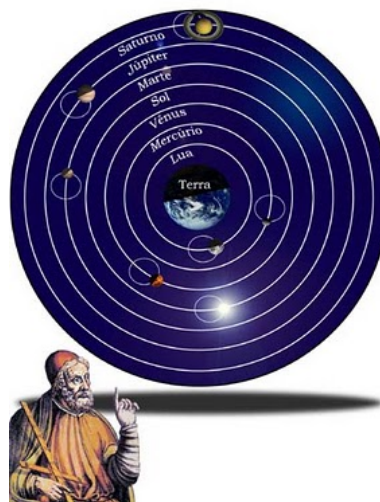


Figura A.10: Ptolomeu (no canto) e um esquema simplificado de seu modelo cosmológico.⁸

⁸ Disponível em < http://www.portaldoastronomo.org/tema_pag.php?id=38&pag=2>

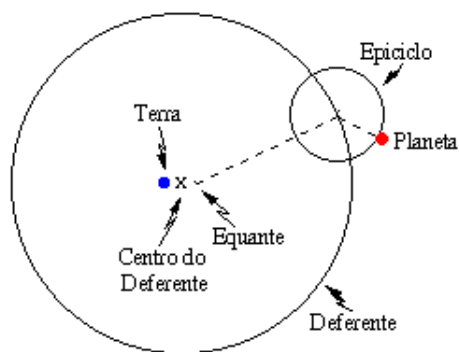


Figura A.11. Imagem reproduzida de H.M.Nussenzveig, Curso de Física Básica, v.1, pág 189).

Nesse esquema final, temos o epiciclo girando em torno do centro do deferente com um movimento uniforme do ponto de vista do equante.

Embora Ptolomeu, assim como muitos dos antigos gregos, tenha deliberadamente tentado “salvar” a ideia do movimento circular perfeito, sua contribuição foi genuína, não se limitando a um “achismo”. Ele de fato conseguiu descrever o movimento dos Planetas do ponto de vista de um observador daqui da Terra com notável precisão, tendo sua obra perdurado por aproximadamente treze séculos!

O Modelo Copernicano

Nicolau Copérnico (1473–1543), outro brilhante astrônomo, nasceu numa província da Polônia (na época, Reino da Polônia). Seu trabalho em astronomia está contido na obra “De revolutionibus orbium coelestium” (nome original em latim que significa *Das Revoluções das Esferas Celestes*) que constitui uma grande mudança, do ponto de vista filosófico, em relação à astronomia da antiguidade. O livro, publicado no ano de sua morte, contém seu modelo cosmológico que, apesar da grande transição que representa, era bastante semelhante à astronomia grega. A repercussão do seu trabalho é um assunto controverso em Epistemologia, sendo um valioso exemplo de como o contexto histórico influencia os rumos das ciências tanto quanto as áreas econômicas e políticas.

A grande mudança reside no fato de que o modelo Copernicano propõe que o Sol seja (quase) o centro do universo (da época), e não a Terra. Os modelos que assim o fazem são chamados de heliocêntricos, enquanto que aqueles que descrevem o universo centrado na Terra são chamados de geocêntrico. A figura A.12 mostra um esquema simples do modelo de Copérnico.



Figura A.12. Copérnico (no canto) e um esquema simplificado de seu modelo cosmológico.⁹

A ideia de um modelo heliocêntrico já havia sido proposta por astrônomos gregos mesmo na época de Aristóteles, e fora refutada por um motivo bastante razoável: se a Terra se movesse ao redor do Sol, deveria existir (e de fato existe) um efeito denominado paralaxe. Esse efeito ocorre, por exemplo, ao olharmos os ponteiros de um relógio. Imagine, por exemplo, que o ponteiro da hora esteja exatamente no número 12 e nós observemos o relógio estando de frente para ele. Se dermos alguns passos para a esquerda, teremos a impressão de que o ponteiro está ligeiramente à direita do número 12. Analogamente, ao olharmos uma estrela no céu e a observarmos seis meses depois, ela deverá parecer deslocada da posição anterior pois, durante esse intervalo de tempo, nós nos movemos em relação à ela (meia volta ao redor do Sol). Como esse efeito nunca havia sido observado, a ideia de um modelo heliocêntrico foi abandonada. A razão para a não observação deste efeito é muito simples, ele é tão menos acentuado quanto maior for a distância entre o observador e o corpo para o qual ele olha. Se, no caso do relógio, estivermos muito distante dele, ao dar mais uma vez uns passos para a esquerda ou direita, praticamente não observaremos esse efeito. Na antiguidade não se imaginava

9 Disponível em < http://www.portaldoastronomo.org/tema_pag.php?id=38&pag=2>.

que as estrelas estivessem tão distantes que o efeito não fosse observável a olho nu, mas de fato elas estão, e este efeito só foi observado (com telescópio) em 1838!

Um dos grandes méritos do modelo de Copérnico foi a dedução (pela primeira vez) da escala relativa das distâncias dentro do sistema solar, todas em função do raio médio da órbita da Terra (distância média da órbita da Terra ao Sol), medida hoje chamada de unidade astronômica (U.A.). Na figura A13 mostramos uma tabela que compara os valores obtidos por Copérnico em comparação com os valores atuais.

Planeta	Raio médio da órbita em U.A.	
	Copérnico	Atual
Mercúrio	0,3763	0,3871
Vênus	0,7193	0,7223
Marte	1,5198	1,5237
Júpiter	5,2192	5,2028
Saturno	9,1743	9,5388

Figura A.13. Comparação entre os valores obtidos por Copérnico e os atuais dos raios médios planetários (em U.A.) (Nussenzveig – Vol.1 - 2002 – pág. 191)

Além disso, Copérnico obteve o tempo que os planetas do Sistema Solar levavam para completar uma volta em torno do Sol, ou seja, a duração do “ano” de cada planeta. Na figura 4.14 apresentamos uma tabela comparando os valores encontrados por Copérnico em comparação com os atuais.

Planeta	Período sideral	
	Copérnico	Atual
Mercúrio	87,97 dias	87,97 dias
Vênus	224,70 dias	224,70 dias
Terra	365,26 dias	365,26 dias
Marte	1,882 anos	1,881 anos
Júpiter	11,87 anos	11,862 anos
Saturno	29,44 anos	29,457 anos

Figura 4.14. Comparação entre os valores obtidos por Copérnico e os atuais da duração dos períodos siderais(anos) dos planetas do Sistema Solar (Nussenzveig – Vol.1 - 2002 – pág. 191)

Notemos o quão próximos os valores encontrados para ele estão dos atuais. Apesar disso, a “adoção” do modelo Copernicano é fruto de intensas discussões da Epistemologia, em particular, para responder a pergunta “Por que escolher um modelo ao invés de outro?”. Segundo Dias e Sapunaru, o historiador da ciência Thomas S. Kuhn aponta que o sistema Copernicano só é melhor que o Sistema Ptolomaico em termos qualitativos, recorrendo também aos epiciclos e deferentes, para descrição quantitativa de seu modelo. Ainda segundo Kuhn, poucas razões existiam para que se escolhessem entre as duas teorias, e segundo o autor a escolha se deveu ao contexto sócio-histórico de Copérnico, ou seja, ao Renascimento, um período de grandes inovações e contestações de autoridade.

Tycho Brahe e Johannes Kepler

Tycho Brahe (1546 – 1601) foi um astrônomo dinamarquês que ficou conhecido por sua incrível habilidade observacional. Ainda que em sua época não se usasse telescópio, Tycho conseguiu uma precisão superior à das melhores observações da antiguidade. Com seus dados, Tycho propôs um modelo próprio, intermediário ao Copernicano e Ptolomaico. Nele, todos os planetas (com exceção da Terra) giram em torno do Sol, enquanto este gira em torno da Terra. Seu modelo difere então do de Copérnico simplesmente por uma questão de referencial. Sua grande colaboração encontra-se em seus dados, incrivelmente precisos, pois foi com esses dados que seu assistente Johannes Kepler (que “herdou” suas observações) escreveu seu livro “Astronomia Nova”, publicado em 1609, que contém duas de suas três famosas leis a respeito do Sistema Solar. Kepler foi o primeiro a descrever corretamente as órbitas dos planetas ao redor do Sol, e a relacionar matematicamente os raios médios das órbitas dos planetas com seus respectivos períodos. Ele resolveu os problemas enfrentados pelos antigos gregos concernentes às retrogradações dos planetas abandonando a ideia do movimento circular perfeito. Utilizando as observações de Tycho Brahe, Kepler compreendeu que as órbitas dos planetas eram elipses, uma figura matemática que possui a forma oval. Essa constitui sua primeira lei.

Primeira Lei de Kepler: A Lei das Órbitas

A primeira Lei de Kepler diz que a órbita dos planetas do Sistema Solar ao redor do Sol é uma elipse com o Sol ocupando um dos focos dessa elipse, como indicado na Figura A15.

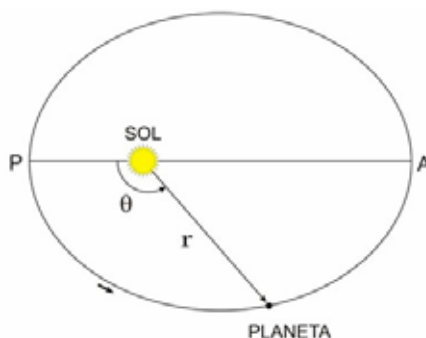


Figura A.15: Representação da órbita elíptica de um planeta ao redor do Sol.¹⁰

Vale ressaltar que essas elipses (no caso dos planetas do Sistema Solar) são bem pouco excêntricas (termo usado para designar o quão “oval” é uma elipse). A figura A15 é utilizada para ressaltar o fato de que a órbita é uma elipse, mas elas são tão pouco excêntricas que suas órbitas são quase circulares, razão pela qual levou tanto tempo para que se percebesse tal fato. O planeta que possui órbita mais excêntrica é Marte.

Segunda Lei de Kepler: A Lei das Áreas

A segunda Lei de Kepler diz que o raio (imaginário) que liga o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais. Logo, a velocidade dos planetas ao redor do Sol não é constante, sendo maior quando estes se encontram mais próximos dele. Essa lei é ilustrada na Figura A16.

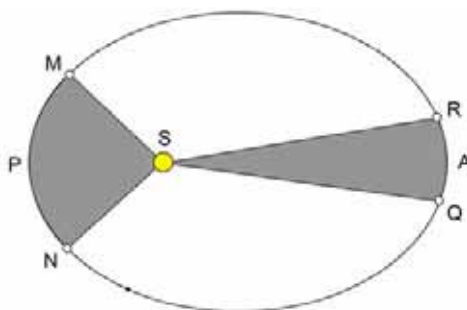


Figura A.16: Representação da Lei das Áreas¹¹

¹⁰ Disponível em < <http://www.uranometrianova.pro.br/astrologia/AA002/4leikepler.htm> >.

¹¹ Disponível em < <http://www.uranometrianova.pro.br/astrologia/AA002/4leikepler.htm> >.

Terceira Lei de Kepler: A Lei dos Períodos

A Terceira Lei de Kepler relaciona o período das órbitas dos planetas do Sistema Solar (o tempo que eles levam para dar uma volta em torno do Sol) com os seus respectivos raios médios (distância média ao Sol). Especificamente, Kepler percebeu que a razão entre o quadrado do período e o cubo do raio médio do planeta é uma constante, ou seja, é o mesmo valor para todos os planetas do Sistema Solar. Matematicamente:

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{constante}$$

O valor dessa constante depende da unidade de medida que empregamos para medir o período e o raio médio, mas ela é igual para todos os planetas do Sistema Solar. Se utilizarmos os valores das tabelas A.13 e A.14 e aplicarmos a equação da Terceira Lei de Kepler, encontraremos para essa constante o valor aproximado de 133.000 dias²/U.A.³

Isaac Newton e a Teoria da Gravitação Universal

Isaac Newton (1642 - 1727) foi um brilhante físico e matemático inglês cujas contribuições intelectuais permeiam diversos ramos dessas disciplinas. Na Física destacam-se seus trabalhos em Óptica e na Mecânica. Na última parte de seu livro “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural” (Philosophia Naturalis Principia Mathematica) ele formula a Lei da Gravitação Universal, na qual faz um estudo matemático e conceitual da gravidade.

Resumindo de modo bem simples, o enunciado matemático da Gravitação Universal de Newton diz que a força de interação gravitacional entre dois corpos é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Assim, podemos expressá-la (em notação moderna) através da seguinte expressão matemática

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

sendo essa expressão usada para se calcular a intensidade da força gravitacional entre dois corpos. A direção dessa força está sempre sobre a reta que une os corpos (no caso de corpos pontuais) e ela é sempre atrativa. Nela, m_1 e m_2 são as massas dos corpos que se atraem, d é a distância entre eles e G é a chamada constante da gravitação universal, cujo valor é aproximadamente $6,67 \cdot 10^{-11} N \cdot m^2 / Kg^2$.

Segundo o historiador Isaac Bernard Cohen, o grande mérito de Newton na Gravitação Universal teria sido a descoberta da interação mútua entre os corpos que possuem massa [Dias e Sapunaru (2008)]. Newton teria percebido que, se o Sol atrai a Terra, esta também deveria atrair o Sol, com uma força de mesma intensidade, pela Lei da ação e reação. Analogamente, o mesmo ocorreria com os demais planetas e o Sol, e com os planetas entre si e os demais corpos celestes do Sistema Solar. Em suma, cada corpo celeste também é um centro de força atrativa. Ainda segundo Cohen, a proporcionalidade da força gravitacional com o inverso do quadrado da distância já era suficientemente conhecida na época de Newton, sendo uma consequência da Terceira Lei de Kepler.

Curiosidade: A queda da história da maçã

Newton teria se desentendido com outro brilhante físico Inglês de sua época, Robert Hooke (1635 – 1703), tendo Hooke alegado ter sugerido a Newton o fato de a força gravitacional ser inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos que interagem. Ele teria feito tal sugestão numa troca de cartas feita entre o fim de 1679 e o começo de 1680. Após Hooke ter escrito a Newton convidando-o a comentar sobre um método criado pelo próprio Hooke para descrever movimentos retilíneos, Newton teria respondido que não conhecia tal método e propôs na resposta um problema que, em linguagem moderna, corresponderia a obter a órbita de um corpo que se move sob o efeito de uma força central atrativa (tal como a gravitacional). A solução de Newton era uma curva espiralada e estava errada. Hooke teria respondido¹²:

“(...) a atração está sempre em uma proporção dupla com a distância ao centro, reciprocamente(...)”

(Turnbull 1960 apud Dias, Sapunaru 2008)

¹² Turnbull 1960 apud Dias, Sapunaru 2008

Ou seja, a força é inversamente proporcional ao quadrado da distância, o que está correto. Hooke teria proposto que a solução seria “uma espécie de elipsoide”. Newton não respondeu a esta carta.

Uma história famosa em livros didáticos a respeito da descoberta da Gravitação Universal é o da queda de uma maçã. Segundo tal história, Newton, na década de 1660, ao se retirar para o campo fugindo do surto de peste em Londres, durante uma caminhada na qual pensava no porquê de a Lua estar presa à Terra, teria tido uma epifania ao observar uma maçã caindo de uma árvore. Tal queda teria-o feito pensar que a mesma interação que a maçã tem com a Terra (e que fez ela cair) existe também entre a Terra e a Lua, sendo esta interação o que prende ela à Terra. Segundo mencionado por Dias e Saponaru, o historiador Cohen afirmou que Newton não teria, à época, as bases conceituais que de fato o levaram a formular a lei (tal como o conhecimento da lei de ação e reação, que, segundo Cohen, teria sido formulada no último rascunho do *Principia*, por volta de 1685). A história teria sido inventada pelo próprio Newton para tornar mais convincente sua alegação de que sua formulação da Gravitação Universal ocorreria quase vinte anos antes da publicação do *Principia*, e, portanto, sem a “ajuda” dada por Hooke. Cohen propôs, após a leitura de Newton e seus cadernos de notas, que foi aplicando o método de Hooke que Newton aprendeu a tratar trajetórias curvas.

Einstein e a Teoria da Relatividade Geral

Albert Einstein (1879-1955) foi um físico nascido na Alemanha que revolucionou a Física lançando uma das bases da Física Moderna com o seu trabalho, a Teoria da Relatividade, estudo que é dividido em duas partes, a Teoria da Relatividade Restrita, publicada em 1905¹³, e a Teoria da Relatividade Geral, publicada em 1915¹⁴. Einstein colaborou para o desenvolvimento de diversas áreas da Física, como a Mecânica Estatística e a Mecânica Quântica, tendo, com um de seus trabalhos nessa área, o estudo sobre o efeito fotoelétrico, recebido o Prêmio Nobel de Física de 1921.

¹³ Willian J. Kaufmann, *Relativity and Cosmology*, 1st edition, New York: Joanna Cotler Books, 1973.

¹⁴ Einstein 1915, *Gesamtsitzung*, vom.4, conforme citado por Ioav Waga, Colóquio apresentado em 26/11/2015 no Instituto de Física da UFRJ (comunicação privada).

Seu trabalho sobre a Teoria da Relatividade Restrita foi uma tentativa de resolver um problema de sua época.

Para relacionar as coordenadas de tempo e espaço de dois referências inerciais era comum usar na época as chamadas transformações de Galileu, um conjunto de equações que expressavam tal relação. Uma das consequências destas equações era o caráter absoluto do tempo e espaço. O problema resolvido por Einstein em seu trabalho estava relacionado às transformações de Galileu e as equações de Maxwell, um conjunto de equações que expressa os fundamentos do eletromagnetismo. Com as equações de Maxwell é possível, por exemplo, deduzir a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas e, segundo essas equações, esta velocidade é uma constante que depende do meio em que ela se propaga (especificamente de duas características dele, sua permissividade elétrica e sua permeabilidade magnética). O problema é que as equações de Maxwell não são invariantes frente às transformações de Galileu. Einstein resolveu esse problema realizando drásticas mudanças na Mecânica para corpos com velocidades comparáveis à da luz. Conceitualmente, Einstein quebrou o paradigma do caráter absoluto do tempo e do espaço.

Já a Teoria da Relatividade Geral considera também campos gravitacionais, sendo uma teoria de Gravitação, assim como a Teoria da Gravitação Universal de Newton. O trabalho de Einstein era, entretanto, mais abrangente que o de Newton. Para campos gravitacionais da ordem do campo na superfície da Terra, por exemplo, os dois trabalhos coincidiam até certo ponto; Einstein demonstrou, porém, que para campos gravitacionais muito superiores ao da Terra, como o campo nas proximidades do Sol, a gravitação de Newton não correspondia às observações. Para ilustrar como isso ocorreu, analisemos muito superficialmente a Teoria da Relatividade Geral de Einstein.

Resumindo de forma bem simples, Einstein descreveu a gravidade não como uma força, mas sim como uma distorção do espaço-tempo. Tal conceito é comumente explicado com a seguinte analogia: imagine uma manta completamente esticada (ou pegue uma manta e faça você mesmo esse breve experimento; se não tiver uma manta, use um lençol, uma toalha ou mesmo uma camisa grande) amarrada em quatro pontas a suportes fixos. Imagine que a superfície dessa manta é o espaço sideral. Se colocarmos um objeto leve em cima dessa manta esticada, tal como uma bola de gude, ela será

deformada, ainda que pouco. Se, ao invés da bola de gude, colocarmos um objeto mais massivo, como uma bola de futebol, a deformação será maior. Se colocarmos os dois objetos próximos um do outro, o corpo menor será atraído para o maior por causa da deformação causada por ele. Essa deformação seria análoga ao que ocorre com os corpos no espaço. Todo corpo, devido à sua presença, deforma o espaço, assim como a bola de gude e a de futebol deformaram a manta, atraindo tudo a sua volta. Essa deformação seria a gravidade.

Einstein, com o seu trabalho, previu que, se um campo gravitacional fosse suficientemente intenso (tal como o gerado pelo Sol em seus “arredores”), a luz seria desviada pela distorção do espaço-tempo. Então, se uma estrela estivesse quase “atrás” do Sol (do nosso ponto de vista), ela seria vista por nós ligeiramente deslocada de sua posição devido à curvatura dos raios de luz emitidos por ela. A teoria Newtoniana também prevê tal desvio, mas o trabalho de Einstein sugere um desvio duas vezes maior. O problema é que não é possível, em condições normais, fazer tal observação já que a luz do Sol ofusca a de todas as demais estrelas. Porém tal observação poderia ser feita durante um eclipse solar, visto que a luz do Sol seria bloqueada por alguns momentos. Para testar a teoria de Einstein, duas equipes tentaram registrar (via fotografias) um eclipse solar que ocorreu em 1919, tendo elas sido enviadas para locais em que esse eclipse seria visível. Um desses locais foi na África, mas devido a condições climáticas adversas, não foi possível realizar fotografias que confirmassem (ou refutassem) o trabalho de Einstein. Já a outra equipe foi bem sucedida, tendo feito o registro do eclipse aqui mesmo no Brasil, especificamente na cidade de Sobral, no Ceará. Foi com o registro dessa equipe que o desvio da luz previsto por Einstein foi observado, sendo esta uma comprovação experimental da Teoria da Relatividade Geral.

Outra comprovação experimental do trabalho de Einstein vinha da observação da precessão da órbita de Mercúrio que, vista da Terra, é igual a 5600 segundos de arco por século. A teoria de Newton previa uma precessão de 5557 segundos de arco por século, apresentando uma diferença de 43 segundos de arcos por século. Usando as equações de seu trabalho de 1915, Einstein encontrou o valor da precessão concordante com a observação.

Friedmann, Lemaître e o Nascimento da Teoria do Big Bang

A Teoria da Relatividade Geral de Einstein passou a ser então a teoria vigente no que se refere à Gravitação, e continua a ser até o presente. Talvez isso mude devido alguns “problemas” que ela enfrenta atualmente. Hoje a Teoria da Relatividade é incompatível com outro modelo da Física, também nascido no início do século XX, a Mecânica Quântica. Pode ser então que tenhamos no futuro outra teoria que substitua (ou modifique em certo grau) a teoria proposta por Einstein por uma que esteja de acordo com a Mecânica Quântica. Até o momento porém, seu trabalho permanece como o vigente entre as teorias de gravitação. Sendo um trabalho extremamente amplo e bastante complexo, aconteceu com ele o que acontece com trabalhos dessa natureza: algumas de suas consequências foram constatadas anos depois de sua publicação, e sequer foram notadas por seu criador. Isso é perfeitamente normal no meio científico, sendo dessa forma, no geral, que ocorre a evolução de uma Ciência. Isso deve-se a uma limitação natural do ser humano, principalmente quanto ao fator tempo. A Ciência é, por isso mesmo, um trabalho coletivo. Assim, foi do trabalho de Einstein que surgiu a “semente” do atual modelo cosmológico, que hoje é popularmente chamado de a Teoria do Big Bang.

Os primórdios dessa teoria nasceram do trabalho independente de dois cientistas, Aleksandr Friedmann (1888-1925), um matemático russo, e Georges Lemaître (1894-1966), um cosmólogo belga. Friedmann publicou dois artigos, um em 1922 e outro em 1924, sobre diferentes possibilidades de modelos de universo, possibilidades essas advindas da Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Até a época, o universo era pensado como sendo estático e eterno. A abordagem de Friedmann propunha a possibilidade de um universo dinâmico. Embora o trabalho de Friedmann tenha um caráter mais matemático, ele implicava uma interpretação inteiramente nova do universo, e, apesar de Friedmann não ter aprofundado muito a interpretação de suas possibilidades de universos dinâmicos, ele estava, como hoje sabemos, no caminho certo. Curiosamente, Einstein refutou, inicialmente, o artigo de Friedmann. Ele até mesmo escreveu uma carta para o periódico científico que publicara o artigo de Friedmann alegando um erro matemático no trabalho do matemático russo. Os cálculos de Friedmann, porém, estavam corretos, e Einstein se retratou ao constatá-lo. Ainda

assim, Einstein parecia convencido de que, embora possuísse validade matemática, o trabalho de Friedmann carecia de fundamentação física.

Friedmann não pôde dar continuidade a seu trabalho, tendo falecido em 1925, mas a ideia de um universo dinâmico voltou a ser considerada por Lemaître em 1927. Buscando desenvolver seu próprio modelo cosmológico, Lemaître, sem saber que Friedmann já havia seguido esse caminho alguns anos antes, redescobriu os modelos que descreviam um universo em expansão, também partindo das equações de Einstein da Relatividade Geral. Lemaître porém, foi mais à fundo na interpretação física de um universo em expansão. Ele teria sido o primeiro a pensar que, se o universo cresce e evolui, ele teve um aparente começo, em que era muito menor do que é hoje. Ele percebeu que essa interpretação implicava em um momento de criação. Em seu trabalho, ele afirmou que o universo teria começado em uma região pequena e compacta da qual expandiu e evoluiu até chegar ao ponto em que está hoje, acrescentando que este continuaria a evoluir no futuro. O modelo de Lemaître não é exatamente o que hoje chamamos de Big Bang, porém, seu trabalho é o precursor desse modelo, tendo seus sucessores partido de seu trabalho para chegar ao modelo atual. Ele já mencionava uma origem e expansão do universo, e, quanto a esses aspectos, estava correto.

A partir daqui não será dada continuidade ao “retrospecto” até a formulação da Teoria do Big Bang. O presente texto tem como objetivo a discussão de uma evidência experimental desse modelo, e não do modelo em si. Tendo como um de seus estímulos a crítica de uma abordagem artificial (“pronta”) e descontextualizada do Modelo Cosmológico Padrão, fez-se necessário esse texto introdutório para que se compreenda como “nasceu” esse modelo. Mais páginas não foram dedicadas a essa introdução a fim de que mais atenção fosse dada a outro aspecto, igualmente importante, e principal foco desse trabalho, que é a discussão de uma das evidências experimentais a favor da Teoria do Big Bang.

A leitura do texto até este ponto mostra dois pontos característicos das ciências: primeiro, ela evolui com o tempo, e esta evolução ocorre através dos erros de muitos, ou, mais especificamente, da correção destes erros. Em segundo lugar, para que haja a substituição de um modelo antigo por outro, mais atual, deve haver uma (ou mais) evidência(s) que mostre(m) que o atual é mais correto (ou mais completo) que o

anterior. Há várias evidências a favor da Teoria do Big bang, sendo três delas fundamentais: a expansão do universo, a abundância de elementos (átomos) leves no universo e a existência de uma radiação cósmica de fundo.

A expansão do universo (o tema central deste trabalho) será discutida nas próximas seções. Ela foi comprovada experimentalmente pela (modernamente) chamada Lei de Hubble. Em seguida, além da discussão de como se pode, empiricamente, “chegar” a essa lei, faz-se sua interpretação, evidenciando como os seus resultados implicam em um universo em expansão.

A Lei de Hubble

A Lei de Hubble é basicamente uma lei que relaciona a distância de certas galáxias até nós à sua velocidade radial. O termo “certas galáxias” foi empregado pois esta lei só é válida para galáxias muito afastadas de nós (em termos de escala astronômica), o que será analisado mais adiante. O fato é que essa lei só é válida para objetos fora da nossa galáxia (e para galáxias relativamente muito afastadas de nós). A lei de Hubble recebe este nome porque foi elaborada pelo cientista norte americano Edwin Hubble (1889-1953).

Hubble publicou dois resultados experimentais que sustentavam essa lei, um em 1929 e outro em 1931 (com mais galáxias analisadas). Realizou esse estudo (das distâncias e velocidades das galáxias) em função de trabalhos feitos por alguns contemporâneos seus acerca do movimento das galáxias.

Pouco tempo antes dos estudos de Hubble, cientistas haviam criado um método para medir as velocidades radiais de estrelas (ou de galáxias). Velocidade radial é o nome dado a velocidade de aproximação ou de afastamento de um corpo (no caso as estrelas) em relação a algum outro (no caso a Terra). Os métodos utilizados serão discutidos mais adiante.

Os trabalhos dos contemporâneos de Hubble mostravam que a grande maioria das galáxias se afastavam de nós, enquanto algumas poucas se aproximavam. Em certo

sentido, cada corpo no espaço está em movimento. A Terra (sobre a qual gira a Lua) gira em torno do Sol, assim como os demais planetas do Sistema Solar. O Sol gira em torno do centro de nossa galáxia, a Via Láctea, e esta, como todas as outras galáxias, também se movimenta no espaço. Ao analisar as galáxias à nossa volta, era de se esperar (na época de Hubble) que aproximadamente metade delas estivesse se aproximando de nós e as outras estivessem se afastando, ou seja, uma distribuição aleatória destes corpos no espaço, o que a princípio faz bastante sentido. Um padrão de movimento sugere alguma interação comum a todos. E o fato de (muito) mais galáxias se afastarem de nós do que se aproximarem já é por si só razão suficiente para procurar algum padrão no movimento desses corpos. Para se ter uma ideia dos números, o astrônomo Vesto Slipher, o primeiro a medir com sucesso (em 1912) a velocidade de uma galáxia (embora na época não se soubesse que eram galáxias e fossem caracterizadas como nebulosas) em 1917 já havia medido a velocidade de 25 galáxias. Destas, 21 se afastavam de nós enquanto apenas 4 se aproximavam.

Diversas tentativas de explicar o afastamento das galáxias foram feitas, porém não se chegou a um consenso. Quando Hubble tomou conhecimento dessa dominância do afastamento em relação à aproximação das galáxias em relação a nós, começou a investigação que culminaria na Lei de Hubble. Já existiam propostas teóricas para a relação matemática entre a distância das galáxias e sua velocidade radial, faltando entretanto uma evidência experimental para sustentá-las. Hubble não propôs o modelo matemático assim como também não propôs interpretações para suas medidas. O que ele fez foi investigar se havia de fato uma relação matemática entre essas duas grandezas.

A “construção” da lei

Antes de discutir as implicações da Lei de Hubble, façamos uma abordagem que torne claro como Hubble fez as medidas que levaram a essa lei. Ao estudar os corpos celestes, os astrônomos, em geral, só podem contar com a luz (radiação de forma mais geral) que esses corpos emitem (ou refletem). Buscaremos então explicar como o estudo dessa luz permite tirar conclusões tais como a distância dos corpos até nós e sua velocidade.

Para compreender como a Lei de Hubble ganhou forma, iremos analisar os dois métodos experimentais utilizados em sua observação: a medida da distância das galáxias até nós, e a medida da velocidade radial (de afastamento ou aproximação) dessas galáxias também em relação à nós.

A medida da distância

A técnica para medir a distância de estrelas até nós é uma técnica indireta. É analisando a luz que chega até nós (de estrelas ou de galáxias) que determinamos o quão distante o corpo que a emite está. No caso do trabalho de Hubble, a luz estudada para se determinar a distância das galáxias pertencia a um certo tipo de estrela dentro dessa galáxia. Isso porque o método da determinação da distância das estrelas utilizado por Hubble não funciona para qualquer estrela. Ele só funciona para um tipo especial de estrelas denominadas cefeidas. Essas cefeidas funcionaram como âncora para a determinação das distâncias às galáxias. Uma estrela (que pode ou não estar no centro de sua galáxia) é usada como referência para se determinar a distância à galáxia à qual ela pertence pelo fato da dimensão de uma galáxia ser praticamente desprezível em comparação com sua distância até nós (como se ela fosse um ponto). Para compreender um pouco melhor este fato, imagine que você possui uma fita métrica muito extensa (na verdade, uma fita quilométrica), e que você queira determinar com ela o quão longe é a sua casa até uma praça que fica do outro lado da cidade que você mora. Para isso, você fixa o início da fita na porta da sua casa e anda em linha reta (imagine que isso seja possível) até essa praça, atravessando toda a cidade. Ao chegar na praça, a distância que você percorreu é tão grande que não faz diferença se você fixar a trena na entrada da praça ou no centro dela. A mudança de valor seria na ordem de metros, enquanto que o valor da distância é da ordem de vários (possivelmente dezenas de) quilômetros. O mesmo vale para o caso das cefeidas e das galáxias. Então, usando o mesmo método utilizado por Hubble, não é possível determinar distâncias a qualquer galáxia, mas sim àquelas que possuam cefeidas. Portanto, o primeiro passo na determinação da distância à uma galáxia é encontrar, na galáxia, uma estrela do tipo cefeida, para então aplicar o método à estrela. Dito isso, para entender o método da medida da distância às galáxias, precisamos conhecer um pouco mais sobre estrelas do tipo cefeida.

Cefeidas

As cefeidas são um tipo de estrela que se destaca por duas características. A primeira: são estrelas variáveis, ou seja, o brilho emitido por elas varia com o passar do tempo e de forma periódica. Assim, ela vai de uma fase menos brilhante para uma mais brilhante e depois volta para a menos brilhante completando o ciclo. Elas não são as únicas estrelas variáveis; o que as destaca das demais estrelas variáveis é a sua segunda característica marcante: a variação do seu brilho possui uma forma assimétrica, possuindo tempos diferentes de aumento e diminuição de seu brilho. Observe na figura A.17 o gráfico de variação no brilho da Delta do Cefeu. Para efeito de comparação, mostramos na figura A.18 uma estrela variável com variação simétrica. Trata-se da estrela Algol¹⁵.

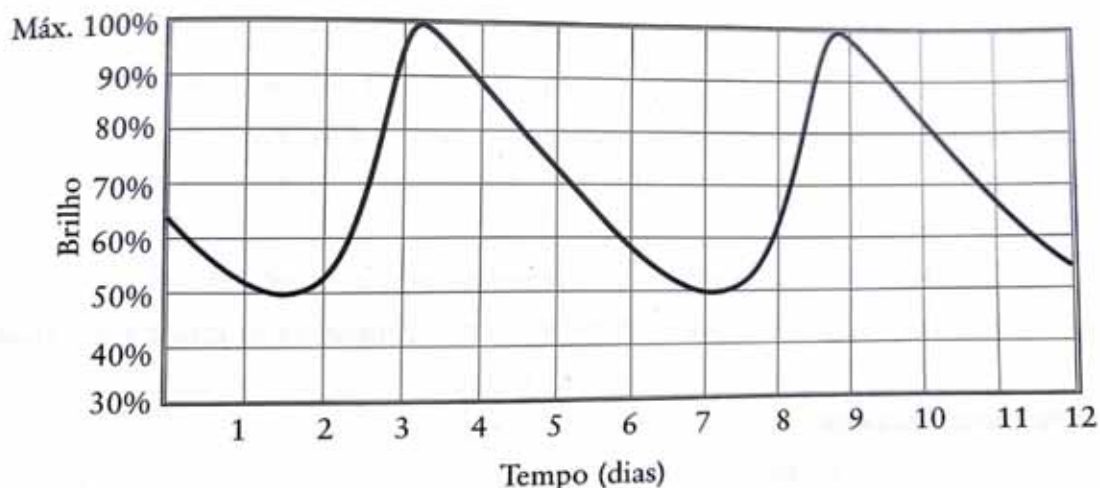


Figura A.17. Gráfico da variação do brilho da estrela Delta do Cefeu. O eixo horizontal representa o tempo e o eixo vertical a porcentagem do brilho. Imagem de Singh 2006.

¹⁵ Simon Singh, *Big Bang*. 1a edição. Rio de Janeiro: Record, 2006.

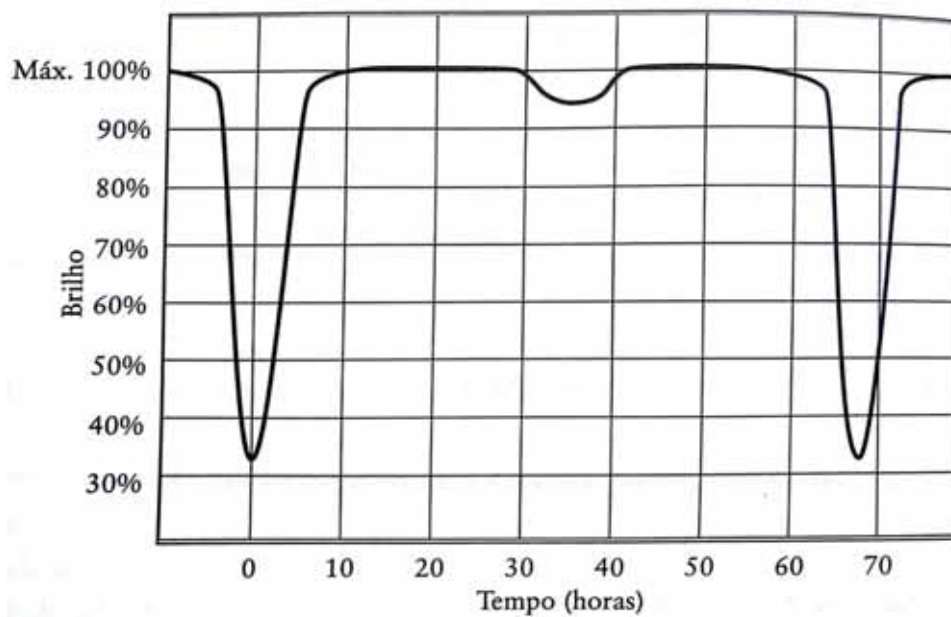


Figura A.18. Gráfico da variação do brilho da estrela Algol. Imagem de Singh 2006.

Uma grande estudiosa de estrelas variáveis foi Henrietta Leavitt, que trabalhava como computadora voluntária no Harvard College Observatory. Computador era um termo utilizado na época para descrever pessoas que manipulavam dados e faziam cálculos. Leavitt analisava e catalogava chapas fotográficas, avaliando o brilho das estrelas e medindo sua localização. Ela adquiriu interesse especial pelas cefeidas, tendo dedicado grande parte do seu tempo em sua análise, e foi ela quem possibilitou a criação do método de medida de distância a essas estrelas, criando uma espécie de escala astronômica, permitindo avanços de extrema importância na astronomia, como a própria Lei de Hubble e a determinação que as nebulosas (como eram chamadas na época) eram galáxias similares à Via Láctea. Essa constatação foi feita por Hubble, utilizando o método desenvolvido por Leavitt.

Depois de passar considerável tempo medindo e catalogando estrelas do tipo cefeida, Leavitt buscou uma relação entre as duas únicas informações disponíveis em relação a qualquer estrela variável (à época), seu período de oscilação e seu brilho. O primeiro problema enfrentado por ela foi o fato de o brilho (medido daqui da Terra) depender não só da própria estrela, mas de sua distância até nós. Assim, se ela comparasse duas estrelas A e B, e observasse que A brilha mais do que B, não teria como saber se A de fato emitia mais luz do que B ou se ela estava apenas mais próxima de nós. Pense no Sol, por exemplo; ele parece muito mais brilhante do que todas as

outras estrelas no céu, porém sabemos que ele é uma das estrelas menos brilhantes em comparação com as demais que vemos. Simplificando mais esse raciocínio, imagine que você tenha uma lanterna bem potente acesa num dia ensolarado. Se você olhar para o Sol, você sentirá um incômodo por causa da luz nos seus olhos. Agora, se você direcionar a luz da lanterna diretamente para um de seus olhos e posicioná-la a meio centímetro dele, a luz da lanterna parecerá tão incômoda quanto a luz do Sol (ou até mais), e isso, obviamente, não se deve ao brilho intrínseco da lanterna, mas sim ao fato de o Sol estar muito mais afastado do seu olho do que ela. Essa dificuldade de se lidar com o brilho aparente de uma estrela foi resolvida de uma maneira extremamente engenhosa por Leavitt.

Analisando chapas fotográficas da formação estelar conhecida como Pequena Nuvem de Magalhães, Leavitt localizou 25 variáveis cefeidas. E, embora não se soubesse à época qual a distância entre a Terra e a Pequena Nuvem de Magalhães, Leavitt supôs que a distância entre as cefeidas eram relativamente pequenas, quando comparadas com a distância de qualquer uma delas até a Terra. Essa suposição foi decisiva para resolver o problema do brilho aparente, e, embora você possa achar estranha uma suposição dessas, feita no que parece ter sido um palpite, se analisarmos a situação, veremos o quão coerente essa suposição é. Ela pode ser respaldada pelo raciocínio utilizado anteriormente, sobre a determinação da distância de sua casa a uma praça. Caso ela não seja clara o bastante, considere a história contada por Simon Singh, autor do livro “Big Bang”, que faz em seu livro uma esclarecedora analogia que nos permite entender de modo extremamente simples o raciocínio de Leavitt. Imagine que você está em um campo aberto num local em que o céu está repleto de pássaros. Como eles estão aleatoriamente distribuídos na imensidão do céu, é impossível apenas olhando, determinar qual o maior (ou o menor) dos pássaros. Assim como no caso das estrelas, um pássaro que pareça grande pode ser pequeno mas estar mais próximo de você do que os demais. Agora imagine que você veja ao longe apenas um grupo de pássaros migrando naquela típica formação em V. É bem razoável a suposição de que a distância entre dois desses pássaros seja desprezível em comparação com a distância do bando em relação à nós, pois sabemos que os pássaros estão bem próximos uns dos outros. Assim, se um desses pássaros parece ser maior do que todos os outros, é bem provável que ele de fato o seja. Portanto, a suposição de Leavitt tem muita lógica.

Munida dessa hipótese, Leavitt conseguiu investigar, para esse pequeno grupo de estrelas, uma relação entre seu brilho intrínseco e o período de oscilação. Uma vez que, assim como no caso dos pássaros, as cefeidas estivessem muito mais próximas umas das outras do que qualquer uma delas estivesse de nós, um maior brilho por parte de uma delas seria decorrente da própria estrela, e não de sua distância até nós. Dessa forma foi resolvido o problema do brilho aparente, embora, devemos notar, o problema estava resolvido para o grupo de 25 cefeidas que Leavitt localizou na Pequena Nuvem de Magalhães (ou em grupos de estrelas semelhantes a essa).

Uma vez considerado que a relação entre o brilho aparente dessas estrelas corresponderia a mesma relação de seu brilho real (a estrela aparentemente mais brilhante do grupo seria de fato a mais brilhante), Leavitt pôde buscar a relação entre o brilho intrínseco das cefeidas com o período desse brilho. O resultado foi incrível. Havia de fato uma relação entre essas duas grandezas, de forma que os pontos do gráfico que as relaciona seguiam uma curva regular. As figuras A.19 e A.20 constituem os gráficos feitos com as observações de Leavitt.

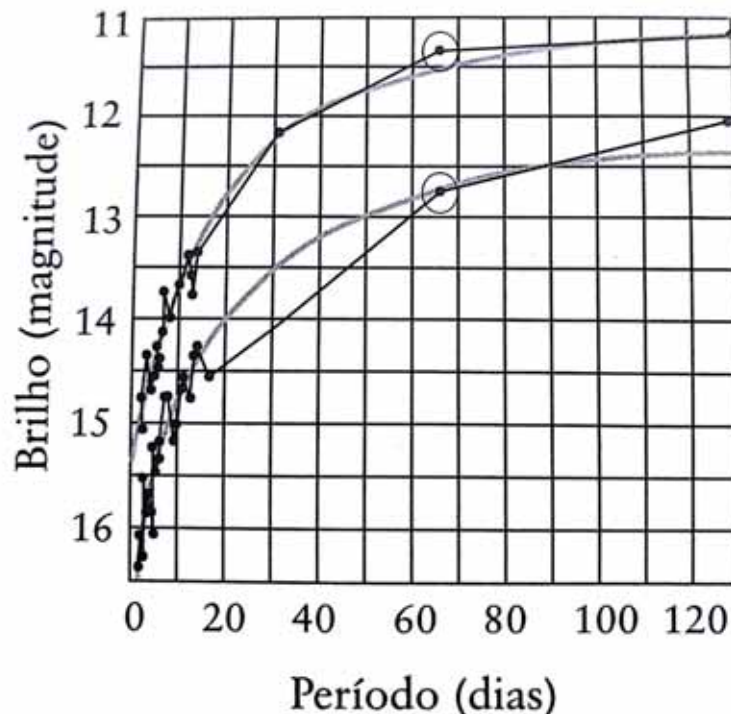


Figura A.19. Gráfico do brilho em função do período das 25 cefeidas da Pequena Nuvem de Magalhães analisadas por Leavitt . Imagem de Singh, 2006.

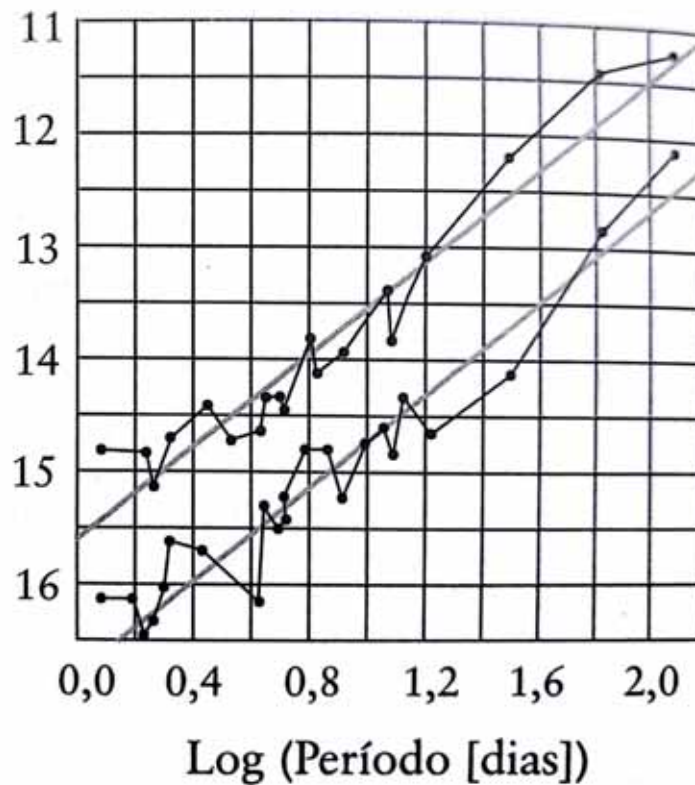


Figura A.20. Gráfico do brilho em função do período das cefeidas da Pequena Nuvem de Magalhães em escala logarítmica. Imagem de Singh, 2006.

Algumas observações devem ser feitas a respeito das figuras A.19 e A.20. Primeiramente, a unidade de medida do brilho das estrelas usada por Leavitt é a magnitude. Esta é uma unidade peculiar cuja medida ocorre no sentido decrescente. Assim, quanto menor o valor da magnitude maior o brilho. Na figura 4.20 vemos o gráfico na escala logarítmica, que é usada, entre outros motivos, para linearizar certos gráficos. Assim, apesar de a relação entre brilho e o período das cefeidas não ser linear, vemos que, quanto maior o brilho de uma cefeida, maior será o período deste brilho; e agora falamos do brilho real da estrela, pois nos apoiamos na hipótese de Leavitt. Com essas informações em mãos, é possível saber o quanto uma cefeida está mais distante de nós do que outra cefeida. Para isso bastavam três passos. Medir o período de cada uma das cefeidas, determinar o brilho real delas através do conhecimento da relação brilho versus período e medir o brilho aparente dessas estrelas, podendo-se determinar com esses dados a distância relativa entre elas. Isso porque o brilho de um corpo incandescente cai com o quadrado da distância a esse corpo. Assim, se uma cefeida A

possuísse um brilho 25 vezes inferior ao de uma cefeida B (e ambas possuíssem o mesmo brilho real), então A estaria 5 vezes mais afastada de nós do que B, pois $5^2 = 25$. Porém, repare que, apenas com essas informações, não é possível determinar a distância de uma cefeida até nós. O máximo que pode ser feito é dizer o quão mais afastada está uma cefeida em relação a uma outra. Para determinar nossa distância até as cefeidas conhecidas era necessário saber a distância de pelo menos uma delas, para então, com o método citado acima, determinar as distâncias das demais.

Os responsáveis pela determinação da distância até as cefeidas conhecidas foram os membros de uma equipe de astrônomos que incluiu Harlow Shapley e Ejnar Hertzsprung, que, através de uma combinação de técnicas, mediram a distância até uma variável cefeida. O método utilizado por eles não era válido para qualquer cefeida, mas este conhecimento somado ao trabalho de Leavitt fizeram das cefeidas uma espécie de régua cósmica, e esse conhecimento que tornou possível a medida das distâncias dessas estrelas até nós.

A possibilidade de se determinar a distância das cefeidas foi aproveitada por Hubble em outra questão de tremenda importância antes da proposta de sua lei. No início do Século XX, não se sabia a natureza das chamadas nebulosas espirais. Alguns defendiam que elas eram galáxias, assim como a nossa Via Láctea, enquanto outros defendiam a ideia de que elas eram sistemas de estrelas localizados dentro na nossa própria galáxia. Em 1920 ocorreu um debate entre dois famosos astrônomos da época, Herbert Curtis e Harlow Shapley, para debater essa e outras questões. Curtis defendia a ideia de que as espirais eram galáxias enquanto Shapley acreditava que elas eram simplesmente objetos nebulosos. A questão não foi decidida na ocasião por falta de dados precisos acerca da nossa distância às nebulosas. Hubble, ao analisar a nebulosa de Andrômeda, encontrou nela uma estrela do tipo cefeida. Utilizando o método de Leavitt, Hubble pôde determinar a distância de Andrômeda até a nossa Via Láctea, e verificar que essa era uma galáxia como a nossa, visto que ela estava numa distância muito maior que o limite de nossa própria galáxia. Hubble resolveu desta forma a questão da natureza das nebulosas espirais.

A medida da velocidade

Agora que está claro qual o método utilizado por Hubble para determinar as distâncias das galáxias medidas em relação à Terra, abordaremos como foram feitas as medidas das velocidades radiais dessas galáxias, lembrando que velocidade radial é a velocidade de aproximação ou de afastamento de um corpo em relação a outro (no caso das galáxias em relação à Terra). Este método também consiste na análise da luz emitida pelas galáxias que chega até nós, e para compreendê-lo, em certo ponto, será necessário o conhecimento da interpretação da luz enquanto onda eletromagnética, pois o método utiliza nossos conhecimentos acerca de um fenômeno ondulatório, o chamado efeito Doppler.

Para começar, vamos expor alguns avanços no estudo da natureza da luz, avanços esses que permitiram a criação do método da medida da velocidade radial das galáxias. Na verdade, a determinação da velocidade do corpo que emite a luz é apenas uma das informações que se pode obter analisando a luz por ele emitido. Essa forma de obtenção de dados através da luz recebe a atual designação de espectroscopia, e embora não a exploremos por completo, parte dela será exposta a fim de ficar clara a forma como Hubble determinou a velocidade radial das galáxias estudadas. Exploraremos então o essencial para que essa compreensão ocorra.

Espectroscopia

A luz é um dos objetos de estudo mais antigos da humanidade. Diversas interpretações já foram dadas na tentativa de explicar corretamente os diversos fenômenos associados a ela. Quando a luz muda de meio de propagação, por exemplo, ela muda de direção. Assim, quando observamos a clássica imagem de um lápis parcialmente mergulhado em um copo com água, temos a impressão de que o lápis está quebrado, e que essa quebra ocorre justamente na fronteira entre a superfície da água e o ar, isso porque é nesse ponto que a luz modifica sua propagação. Esse fenômeno é denominado refração, e é apenas um de muitos que compreendemos com a interpretação ondulatória da luz. Na tentativa de simplificar ao máximo os nossos objetos de estudo,

evitaremos as explicações dos muitos fenômenos conhecidos para evitar um efeito “bola de neve”. A princípio, só precisamos saber que, ao atravessar certos corpos (ou substâncias), dependendo do ângulo de incidência, a luz denominada branca (a luz solar) pode ser dividida em outras cores. Tal fato é comumente visto no fenômeno do arco-íris, quando a luz atravessa algumas gotas d’água na atmosfera, ou com o auxílio de um prisma.

O estudo da luz por meio de um prisma foi feito por muitos cientistas, entre eles Isaac Newton. Após deixar passar um feixe da luz do Sol em um prisma, Newton compreendeu que a luz branca é composta pelas cores do arco-íris. Ele mostrou isso recombinando os feixes de luz separados pelo prisma em um anteparo, tendo como resultado a luz branca que havia incidido inicialmente no prisma. Newton percebeu que cada cor era desviada de forma diferente ao atravessar o prisma, e por isso ela era dividida na imagem composta pelas mesmas faixas de cores do arco-íris. A luz solar se decompõe no prisma da mesma forma que nas gotículas de água na atmosfera. A decomposição da luz por um prisma foi apenas um de muitos passos no estudo da luz. Com o passar do tempo, o prisma foi substituído por outros instrumentos ópticos, como a rede de difração, por exemplo. Ela é mais conveniente por fornecer mais informações acerca da luz que àtravessa que um prisma. O fato é que, através de suas pesquisas, Newton entendeu que a luz branca se dividia ao passar pelo prisma em sete cores numa imagem contínua como a representada na figura A.21. Ou seja, segundo Newton, essas sete cores (denominadas primárias) juntas formavam o branco.

Com o passar do tempo e o avanço da tecnologia, aparatos experimentais mais potentes permitiram o avanço desse estudo, de modo que outros cientistas conseguiram perceber alguns detalhes do espectro solar que na época de Newton passaram despercebidos. O cientista inglês Willian Wollaston, por exemplo, percebeu umas listras escuras no espectro solar, como é mostrado na figura A.22. Posteriormente a ele, o fabricante de lentes alemão Joseph von Fraunhofer, embora não tenha conseguido explicar o porquê da existência dessas listras, fez um estudo minucioso a respeito delas, tendo as catalogado.

Utilizando o mesmo método de Newton para analisar a luz do Sol, o físico escocês Thomas Melvill analisou, em 1752, a luz emitida pela chama da queima de

certas substâncias. A forma da luz refratada pelo prisma não assumiam mais a forma de um espectro contínuo, mas sim de um discreto. Ou seja, a imagem visualizada por Melvill foi a de algumas “linhas” de luz, como mostra a figura A.23.



Figura A.21: Espectro contínuo.¹⁶



Figura A.22: Espectro contínuo com as listras escuras encontradas por Fraunhofer.¹⁷

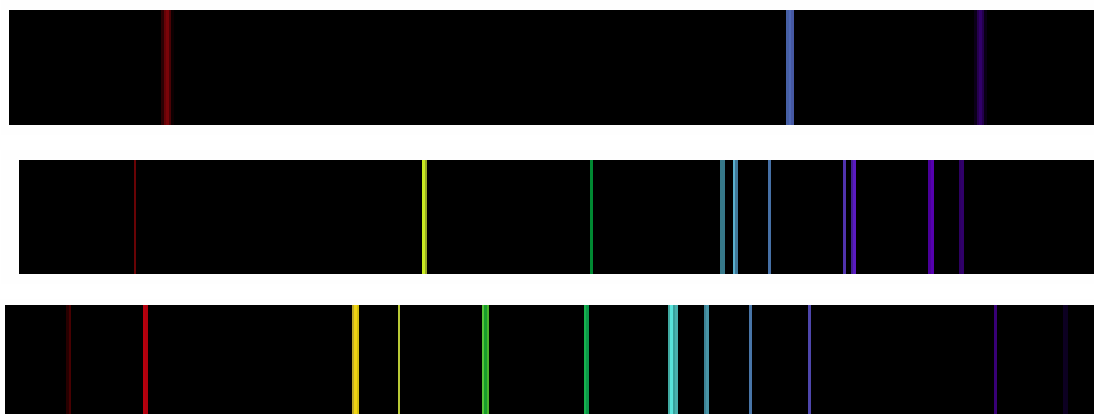


Figura A.23. Imagens de espectros discretos.¹⁸

Em 1826 o astrônomo inglês John Herschel percebeu que estes espectros forneciam uma espécie de impressão digital da substância colocada na chama, pois cada substância apresentava um espectro que podia ser associado a ela. Assim, sempre que o experimento fosse feito com uma dada substância, ela apresentaria a mesma imagem no anteparo. E, se uma substância desconhecida fosse encontrada, para identificá-la bastava

¹⁶ Disponível em < <http://fsicaeequimicaa.blogspot.com.br/2010/11/tipos-de-espectros.html> > .

¹⁷ Disponível em < <http://fsicaeequimicaa.blogspot.com.br/2010/11/tipos-de-espectros.html> > .

¹⁸ Disponível em < http://www.passo-a-passo.com/mec/7.3.6/05_teoriam.htm > .

visualizar o seu espectro e compará-lo com o de amostras conhecidas. Hoje em dia essas linhas recebem o nome de espectro de emissão e elas são usualmente obtidas pela passagem de uma corrente elétrica em um tubo contendo a substância a ser analisada no estado gasoso. Porém o efeito é essencialmente o mesmo do método utilizado por Melvill. O primeiro espectro da figura A.23, por exemplo, é obtido quando o gás dentro do tubo é o hidrogênio. O segundo e o terceiro são, respectivamente, Hélio e Carbono. Se uma amostra contiver os três tipos de gás, a imagem resultante será uma superposição dos três espectros da figura A.23.

É desnecessário enfatizar o quanto esse método representou um avanço para a Química. Porém não foi só essa Ciência a beneficiada por ele. Os astrônomos perceberam o quão valioso ele era para a sua própria área de estudo. Com ele, era possível fazer algo que, anteriormente se imaginava impossível: analisar a composição química das estrelas. Considerando que, simplificada mente elas podem ser vistas como uma grande bola de gás incandescente, podemos analisar sua luz, decifrando de que elas são feitas. E isso ocorreu graças aos esforços do físico alemão Gustav Kirchhoff que compreendeu a existência das linhas escuras no espectro solar. Na verdade ele fez mais do que isso, ele elaborou três leis a respeito da emissão contínua (com e sem listras escuras) e discreta dos espectros. Para o nosso objetivo, basta compreendermos (embora seja uma simplificação que oculta alguns aspectos acerca do processo de emissão e absorção de luz) que as listras escuras no espectro das estrelas ocupam as mesmas posições que as linhas dos espectros discretos ocupariam caso as submetessem ao método acima citado. Assim, se uma estrela é composta apenas de hidrogênio, ao analisarmos o seu espectro, encontraremos a mesma imagem da figura A.22, porém com três linhas escuras localizadas na mesma posição que as linhas coloridas na imagem do espectro discreto do hidrogênio (primeira imagem da figura A.23).

A denominação atual desse método experimental é espectroscopia, e ela é feita usando dispositivos chamados espectrômetros. Esse nome vem do termo espectro, pois hoje sabemos que a luz é apenas uma pequena fração de todo espectro eletromagnético existente. A cor da luz é um estímulo visual associado à frequência dela. Mas nossos olhos, como todo instrumento de medida (no caso, um instrumento óptico) possui limitações. Assim, só enxergamos uma faixa de todas as frequências possíveis. Com o

passar do tempo, outras frequências da radiação eletromagnética foram detectadas, e a figura que criamos a partir da ordenação das frequências da luz se torna (desta vez, em ordem decrescente) a mostrada na Figura A.24.

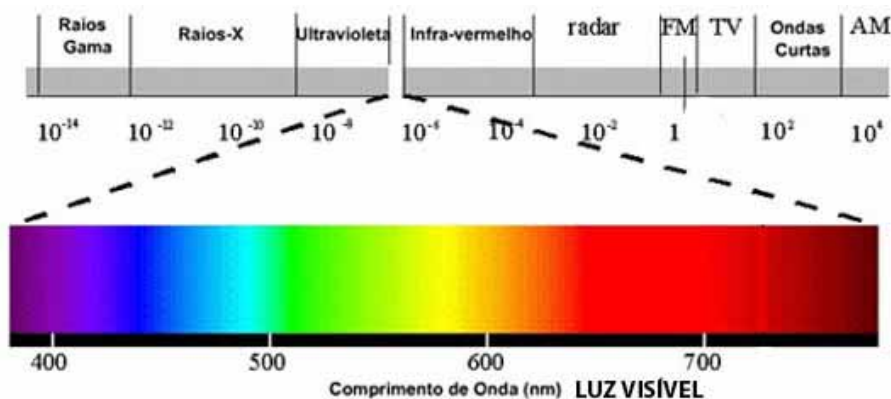


Figura A.24 Espectro eletromagnético apresentado em ordem crescente de comprimento de onda.¹⁹

A análise química das estrelas, que por si só já representou um gigantesco avanço para astronomia, não foi o único avanço possibilitado pelo estudo de seus espectros. Esse estudo permitiu também descobrir como determinar a velocidade radial das estrelas (ou das galáxias, no caso de Hubble), usando o fenômeno ondulatório denominado efeito Doppler. Com as informações que temos até o momento adicionado a esse conhecimento poderemos enfim compreender o método utilizado por Hubble para traçar o gráfico associado a sua lei.

Efeito Doppler

Até aqui falamos sobre os estudos da luz que, em certo momento, possibilitaram a constatação de que o universo está em expansão. Para concluir, resta apenas um tópico a ser discutido: o efeito Doppler. De forma sucinta, efeito Doppler é o nome dado à mudança aparente na frequência de uma onda devido ao movimento relativo entre o emissor da onda e o receptor. No dia a dia, podemos perceber esse efeito quando uma ambulância passa por nós com a sirene ligada. Quando ela se aproxima o som que ela

¹⁹ Disponível em < <http://fsicaeequimicaa.blogspot.com.br/2010/11/tipos-de-espectros.html> > .

emite parece mais agudo, o que indica uma frequência elevada. A partir do momento que ela passa (começando então a se afastar), o som passa então a ser mais grave, indicando uma frequência mais baixa do que a ouvida originalmente. Tal efeito pode ser ainda mais evidenciado caso você assista uma corrida de Fórmula 1. A diferença do som dos carros de agudo para grave é mais acentuada que nas ambulâncias, pois estes se movem muito mais rápido, de forma que o efeito Doppler é mais acentuado. Esse efeito, embora seja mais facilmente percebido com o som, ocorre com toda e qualquer onda.

Devido ao efeito Doppler, então, caso uma fonte esteja emitindo uma onda e você se aproxime dela, detectará uma frequência maior do que a emitida. Já se estiver se afastando dela, a frequência captada por você será menor que a emitida pela fonte. A frequência da onda sonora está associada a quão grave ou aguda é uma onda; percebemos um som mais agudo (aumento da frequência) ao nos aproximarmos da fonte sonora e um som mais grave (redução da frequência) quando nos afastamos dela. Para a luz, a característica associada à frequência é a cor (na faixa do visível). Assim, quando uma fonte luminosa estiver se afastando de nós, as cores emitidas por essa fonte sofrerão o que chamamos de “desvio para o vermelho”, pois neste caso a frequência da onda diminui. De modo análogo, ao nos aproximarmos de uma fonte luminosa, ocorre o desvio para o azul. Lembre-se da nossa ordenação das cores de acordo com a sua frequência (figura 4.21). Esse desvio é facilmente percebido ao analisar espectros de substâncias conhecidas. Lembre-se que, através da espectroscopia foi possível criar uma espécie de impressão digital de cada substância. Assim, se analisamos uma substância luminosa distante de nós, e vemos que o espectro discreto dela não coincide com nenhum dos estudados, mas é muito próximo do espectro do hélio, por exemplo, porém um pouco deslocado para a extremidade vermelha do espectro, sabemos que a substância em questão é composta de hélio e está se afastando de nós. De fato, pelo tanto que é desviado o espectro, podemos calcular a velocidade da fonte luminosa.

De volta à Lei de Hubble: A interpretação do resultado

Em 1929, Hubble já medira a distância e a velocidade de 46 galáxias. Ele começou confirmando as velocidades medidas por Slipher para depois medir distâncias e velocidades de galáxias tão distantes não medidas anteriormente por nenhum cientista.

Apesar do grande número de medidas, a margem de erro de mais da metade dessas era muito grande, de modo que Hubble utilizou apenas as medidas que ele considerava mais confiáveis, e com elas ele traçou um gráfico de velocidade em relação versus distância para as galáxias estudadas, como mostrado na figura A.25²⁰.

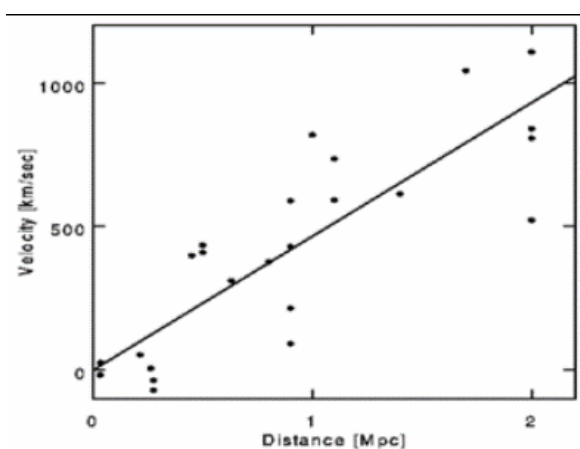


Figura A.25: Gráfico publicado por Hubble em 1929. O eixo horizontal representa a distância e o eixo vertical a velocidade de afastamento, sendo que a cada ponto corresponde uma galáxia.

A observação das medidas indicou a Hubble a existência de uma relação linear entre distância e velocidade. Embora nem todos os pontos estejam sobre uma única reta, existe uma tendência geral, e isso sugere que a velocidade de uma galáxia é proporcional à sua distância a nós. O resultado matemático dessa relação linear é conhecido, nos dias de hoje, como a Lei de Hubble, e é representada pela seguinte equação matemática:

$$v = H_0 \cdot D$$

sendo $H_0 \approx 70 \text{ km}/(\text{s Mpc})$ ²¹, onde v é a velocidade das galáxias, D é a distância até elas e H_0 é uma constante de proporcionalidade chamada constante de Hubble. Essa

²⁰ Hubble 1929, citado por Ioav Waga. Colóquio apresentado em 26/11/2015 no Instituto de Física da UFRJ (comunicação privada).

²¹ E. Harrison, *The Science of the Universe*, 2nd edition, Cambridge University Press, New York, 2000.

equação permite constatar a existência de uma proporcionalidade entre as duas grandezas medidas. Assim, se uma galáxia A se encontra duas vezes mais afastada de nós do que outra galáxia B, ela (galáxia A) também se afastará de nós duas vezes mais rápido que a galáxia B.

Na verdade, este primeiro resultado a ser publicado foi bastante questionado. A distribuição dos pontos no gráfico, como podemos observar, não estava tão ordenado a ponto de sugerir uma reta, como indicado na figura 4.25. Devido este fato, Hubble refez o seu estudo, com a ajuda de seu assistente Milton Humason, publicando em 1931 um novo gráfico contendo mais galáxias (algumas que estavam até vinte vezes mais distante que qualquer uma relatada no trabalho de 1929), como mostrado na figura A.26.

Como é possível notar, os pontos deste segundo gráfico sugerem muito mais fortemente uma relação linear do que o primeiro. Nele, todos os pontos do gráfico de 1929 estão no pequeno quadrado localizado no canto inferior esquerdo da figura 4.25.

Embora algumas considerações acerca da interpretação física dos parâmetros da Lei de Hubble devam ser feitas²², vemos que a velocidade de afastamento das galáxias mais distantes de nós é diretamente proporcional à sua distância. Assim, se uma galáxia X se encontra três vezes mais distante de nós que outra galáxia Y, então X deve se afastar três vezes mais rapidamente de nós do que Y. Essa relação entre as duas grandezas foi o que tornou possível a constatação da expansão do universo, e tal constatação pode ser feita através de uma analogia comumente empregada para se explicar a própria expansão. Imagine (ou pegue) um balão desses de festas na qual tenha sido colados algumas moedas de dez centavos (ou outros objetos igualmente pequenos). Agora imagine esse balão enquanto ele está sendo enchido de ar, como na figura A.27.

Nesta analogia, o balão seria o nosso universo; especificamente, a superfície do balão seria nosso universo. Apenas a superfície do balão deve ser considerada, o menino que assopra e mesmo o interior do balão não cumprem papéis nessa analogia. Estamos portanto imaginando um universo “achatado” em duas dimensões. As moedas nesse caso seriam as galáxias. O crescimento do balão enquanto ele é enchido corresponde à expansão do universo. Repare que, enquanto isso ocorre, as moedas se afastam, não por

²² A discussão mais aprofundada é feita no Capítulo 4 (p. 49) da dissertação de Lucas P.A.A. Duarte, da qual este texto constitui parte integrante como material associado.

estarem se movendo propriamente falando, mas sim pelo fato do espaço entre elas estar crescendo.

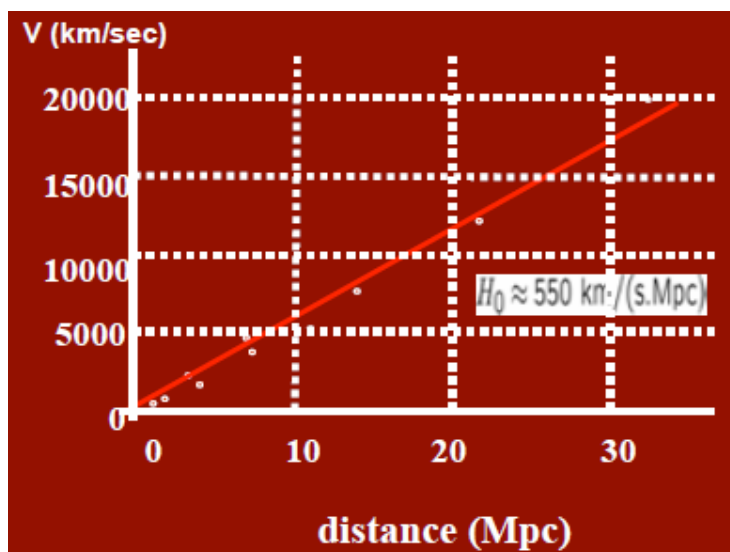


Figura A.26. Gráfico da lei de Hubble com as medidas publicadas em 1931. O eixo horizontal representa a distância e o eixo vertical a velocidade de afastamento, sendo que a cada ponto corresponde uma galáxia.

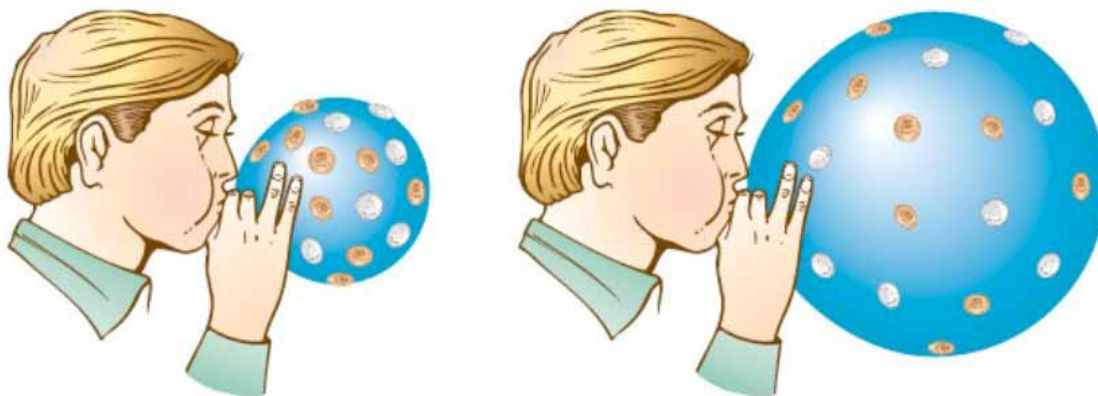


Figura A.27: analogia da expansão do universo.²³

Observe como a Lei de Hubble é consistente com essa situação. Escolha uma moeda para tomar de referência na imagem da figura A.27. Agora olhe para uma moeda que se encontre bem próxima a ela. Conforme o balão cresce, a distância entre elas aumenta. Agora faça a mesma observação, considerando porém uma moeda que esteja

²³ Disponível em < http://francisco-scientiaestpotentia.blogspot.com.br/2010_05_01_archive.html > Acesso em nov. 2015

inicialmente bem afastada de sua moeda de referência. Como ela estava mais distante que a primeira moeda, o afastamento dela foi igualmente maior. Esse fato ilustra também outras características (hipóteses) curiosas do nosso universo: é homogêneo e isotrópico (em grandes escalas), o que quer dizer que ele é simétrico, ou seja, não possui centro e é igual em todas as direções que nós olhemos. Em outras palavras, onde quer que estejamos no universo, teremos a impressão de estar localizados no centro dele, visto que veremos todos os pontos (bem distantes) se afastarem de nós. Para compreender essa ideia, refaça a análise das moedas que se afastam escolhendo outra moeda como referência.

Outro aspecto importante nessa analogia é o fato de se ter usado moedas (ou objetos colados) ao invés de marcas pintadas no balão. Isso é fundamental pois a expansão do universo só é perceptível para grandes distâncias, sendo irrelevante para distâncias do tamanho de uma galáxia, do contrário esta teria sido constatada muito tempo antes do que foi. Ou seja, as estrelas da nossa galáxia não estão se afastando de nós. Na verdade nem mesmo as galáxias mais “próximas” de nós estão (pelo menos não devido à expansão do universo). A galáxia de Andrômeda, como já foi mencionado, está na verdade se aproximando de nós. Isso explica também porque nem todas as galáxias possuem desvio para o vermelho, e porque a Lei de Hubble não se aplica às galáxias relativamente mais próximas à nós. Assim como a Terra e os demais planetas do Sistema Solar giram em torno do Sol, as estrelas giram em torno de suas galáxias e as galáxias se movem pelo espaço. Esse movimento é aleatório. Quando Hubble analisava galáxias muito distantes, o movimento local das galáxias era desprezível se comparado ao movimento decorrente da expansão do universo.

Com isso, apresentamos as ideias básicas sobre a Lei de Hubble que permitem a discussão da expansão do Universo.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

A LEI DE HUBBLE

Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte

Joav Waga

Marta Feijó Barroso

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
02/2016

Introdução à Astronomia

O texto a seguir consiste numa breve e simplificada introdução à Astronomia para auxiliar professores de Física do nível médio, mas que se necessário possa ser usado diretamente com os alunos.

A sua intenção é discutir o básico sobre o assunto para que seja possível o aprofundamento em assuntos relacionados e com maior grau de dificuldade. Trata inicialmente da caracterização e da descrição de alguns corpos celestes, em seguida discute-se algumas das unidades medidas em escalas astronômicas (as medidas de tamanhos, distâncias e do passar do tempo) e como elas são difíceis de se imaginar por estar tão “fora” do nosso senso comum. Por fim é feita uma breve discussão das pesquisas espaciais e dos benefícios que essas trazem para a sociedade.

Apêndice B. Introdução à Astronomia

Este texto é composto de 3 partes: os astros (seções B1 a B9), tamanhos, distâncias e tempo em escalas astronômicas (seção B10) e a pesquisa espacial (B11).

B.1. O que é Astronomia



Figura B.1. Fotografia tirada pelo telescópio espacial Hubble¹

O céu noturno é um dos fascínios mais antigos da humanidade. Sendo nós criaturas intrinsecamente curiosas, não é de se espantar que esse esplendor que se mostra à nossa vista todas as noites tenha sido um dos primeiros (potencialmente o primeiro) objetos de estudo da humanidade. Há indícios de gravuras feitas com ossos que datam mais de 30.000 anos que parecem tratar das fases da Lua. Isso ocorreu 25.000 anos antes do uso da escrita! Não que a mudança constante da Lua, e a beleza da

¹ Disponível em < <http://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/telescopio-espacial-hubble-faz-um-resumo-da-historia-do-universo-12219103> > Acesso em dez. 2015

vasta imensidão do espaço sideral não fossem motivos suficiente, mas o estudo dos corpos celestes (sobretudo de seu movimento) foi fundamental em diversos aspectos práticos para a humanidade, como o conhecimento das estações do ano, por exemplo (o que já implica um grande avanço na agricultura), reconhecer os períodos de abundância alimentar, de frio, e as transformações que elas acarretavam era fundamental para a sobrevivência dos povos antigos, seja para o preparo em antemão de um abrigo, da estocagem dos alimentos, ou mesmo da mudança do local de habitação. E, falando nisso, o movimento dos astros serviu por muito tempo como o guia na migração dos povos, sendo a referência para a localização dos pontos cardeais, especialmente nas navegações (onde qualquer outra referência “some”). O nosso calendário está intimamente ligado à observação dos corpos celestes: Um dia é o tempo que a Terra leva para completar uma volta em torno de si mesma, as semanas correspondem ao tempo das fases da Lua, e o mês é o completar do seu ciclo (a passagem das quatro fases). Por fim, o ano corresponde a uma volta da Terra em torno do Sol.

Sendo então tão importante para a humanidade, nada mais natural do que a construção de uma ciência que estude os astros. A essa ciência deu-se o nome de Astronomia. Após séculos da evolução dela, ela possui hoje diversos ramos, mas sua essência continua a ser o estudo dos corpos celestes.

B.2. Sobre os Astros

Quando olhamos para o céu noturno, mesmo em grandes cidades, é possível olhar diversas estrelas no espaço sideral. Apesar disso, o espaço está povoado por diversos astros menores, tais como planetas, satélites naturais (luas), asteroides, meteoroides, cometas, etc. Apesar das diferenças significativa entre eles, todos compartilham uma formação similar. Numa explicação bastante simplificada, podemos imaginar a formação desses astros da seguinte forma: Todos os corpos são constituídos por átomos, que por sua vez são formados por elétrons, prótons e nêutrons (embora eles também são formados por estruturas menores, não é necessário citá-los em uma primeira abordagem do assunto). Como veremos mais adiante, os corpos celeste, no geral, estão separados por distâncias tremendas, mas essas não são completamente

vazias. Há “poeiras” de matéria, constituída por átomos como todos os demais corpos. Elas são uma espécie de estrutura básica, formada por átomos que estavam “vagando” no espaço. Esses átomos, por sua vez, surgem de diversas “fontes”. Imagine, por exemplo, que um próton é expelido por uma estrela durante a reação química que ocorre nela (responsável pelo seu brilho). Esse próton pode colidir com um elétron que também tenha sido expelido. Devido à interação eletrostática entre os dois (cargas opostas se atraem) eles podem se combinar (o elétron fica preso ao próton, na eletrosfera). Assim se deu a formação de um átomo de hidrogênio. Se o número de elétrons e prótons combinados fosse maior (ou se a ligação ocorresse envolvendo também nêutrons), outros elementos teriam se formado. Podemos fazer uma analogia com duas gotas de água que estão sobre uma superfície sólida. Se eles “se encontram”, elas se aglutinam, formando uma gota maior. Esses átomos, ao se combinarem (após a colisão com outros átomos “nômades”) podem formar moléculas. Quando essas moléculas também se combinam com outras moléculas, estruturas mais complexas vão se formando. Dependendo da quantidade de matéria acumulada, teremos um ou outro corpo celeste. Assim, podemos dizer de maneira simplificada, que a diferença básica na formação dos astros é a quantidade de matéria que ele “aglutina”. Quando o corpo já possui grandes (em escala astronômica) quantidades de massa, o corpo “gera” também um expressivo campo gravitacional, atraindo para si mais matéria. Além disso, o contrário também pode ocorrer. Ao invés de uma estrutura menor formar uma maior, uma maior pode “gerar” uma menor. Um planeta, por exemplo, pode, após uma colisão, ter parte de sua massa separada do restante. Esse pedaço pode vir a se tornar uma lua. Da mesma forma, parte de um cometa pode dar origem a um meteoróide. É bom deixar claro, porém, que não há uma linha bem definida a distinguir alguns desses astros (em particular, os de “pequeno” porte). Alguns asteroides, por exemplo, tem características (e origem) similar a alguns cometas. Dito isso, veremos agora um pouco mais sobre essas diferentes estruturas que podem ser formadas:

B.3 Meteoroides, Meteoros e Meteoritos



Figura B.2. Fotografia de um meteoro (risco branco no canto superior direito da imagem).²

Meteoroide é o nome dado à alguns corpos sólidos que vagam no espaço pequenos demais para serem considerados asteroides. Apesar disso, não há uma linha bem definida separando os corpos que devem ser chamados de asteroides dos que devem ser chamados de meteoroides. Em especial, quando um astro tem algo em torno de dez metros de diâmetro, ele pode ser chamado tanto de um quanto de outro. Por outro lado, é possível dizer que um astro será chamado de asteroide quando os elementos de sua órbita são bem definidos.

O meteoróide é muitas vezes confundido com outros dois corpos celestes, o meteoro e o meteorito. Há os que pensam que esses três só diferam pelo tamanho, e outros que acreditam que esses três são sinônimos. Acontece que, de fato, esses três nomes são dados ao mesmo corpo, mas em diferentes circunstâncias. O meteoróide é o corpo descrito acima quando ele vaga pelo espaço sideral. Se, por um acaso, um meteoróide entrar na atmosfera da Terra, ele passa a ser chamado de meteoro. Nessa situação, devido o atrito com a atmosfera, ele “queima”, ficando incandescente (ver Figura B.2). No geral, por ser pequeno, ele se desfaz em pouco tempo, não chegando a atingir a superfície da Terra. Esse fenômeno é mais comumente chamado de estrela cadente, aquele risco no céu quase rápido demais para se ter certeza do que se viu. Esse

² Disponível em < <http://www.observatorio.ufmg.br/pas02.htm>> Acesso em dez. 2015

é na verdade uma fenômeno bastante comum, caindo diariamente em todo o nosso planeta cerca de dez mil toneladas deste material. Embora, além de, como foi dito, grande parte dessa quantidade não atinja a superfície da Terra, outra parte considerável sequer é visível a olho nu (por se tratar de um corpo muito pequeno), sendo detectado apenas por radares. Para que um meteoróide seja visto ao entrar na atmosfera do nosso planeta, ele deve ter pelo menos um grama de massa. Quando o meteoróide, após se “transformar” em meteoro não é desintegrado na atmosfera, atingindo a superfície do planeta, ele recebe o nome de meteorito. Quase um quarto dos meteoritos são formados por uma liga metálica de níquel e ferro. Apesar disso, esses elementos são minorias entre os meteoróides, porém eles estão mais presentes entre os meteoritos pois possuem mais probabilidade de “sobreviverem” à violenta viagem na atmosfera terrestre que os meteoróides compostos de elementos menos resistentes. É interessante mencionar uma das formas mais simples de se procurar meteoritos: Embora provavelmente imaginemos um dispositivo (algo como um detector de metais), a base para a sua procura reside na escolha do local a se vasculhar. Tipicamente em desertos ou geleiras. Como essa busca é equivalente àquela do ditado popular da agulha no palheiro, devemos procurar em um palheiro que não esteja muito cheio. Assim, se estamos em uma geleira, e a única coisa que vemos ao nosso redor além da neve é um pequeno pedaço de rocha, sendo a única do local, é bem provável que ele tenha vindo do espaço. O interessante nesse raciocínio é a criatividade investigativa. A engenhosidade está muito mais presente (e é muito mais essencial) nas ciências, do que se pensa, sendo ela uma grande solucionadora de problemas.

B.4 Cometas



Figura B.3: Cometa Ison.³

Cometas são aglomerados de gelo, neve e poeira, tipicamente da ordem de 10 km de diâmetro. O seu centro contém um pequeno núcleo rochoso, além de pedaços de gelo e gases congelados embutidos na rocha e poeira. Quando um cometa está a uma distância menor que o dobro da distância da Terra ao Sol, o calor da nossa estrela começa a derreter o gelo e a neve contidos nele, e a radiação solar empurra o gás e a poeira do cometa para “longe” do Sol, criando a típica imagem associada aos cometas, a chamada “cauda” do cometa. Daí resulta que, ao contrário do que se costuma pensar, a cauda não está apontada para o lado oposto ao que o cometa se desloca, mas sim para o lado oposto ao que se encontra o Sol. Embora a maior parte do cometa (tipicamente de 75% a 80% dele) seja composta de água congelada, outras substâncias químicas que comumente o constituem são o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e amônia (NH_3). O mais famoso dos cometas é o cometa Halley, que completa um ciclo de sua órbita em 76 anos. Por ser constituído de um material não muito resistente, os cometas costumam ter “vida curta” em comparação aos corpos celestes, podendo ser completamente destruídos na colisão com outros astros, ou mesmo ao sofrer grandes variações de temperatura, sobrevivendo apenas para dar algumas milhares de voltas em torno do sol. Embora possa parecer muito, isso nem se compara

³ Disponível em < <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2013/11/cometa-ison-teria-sobrevivido-apos-passar-perto-do-sol-dizem-cientistas.html> > Acesso em dez. 2015.

ao tempo de vida dos demais astros. Veja o cometa Halley, por exemplo. Vamos supor que ele dê cinco mil voltas ao redor do Sol antes de “morrer”. Como ele leva 76 anos para completar uma volta, ele terá vivido um total de trezentos e oitenta mil (380.000) anos. Uma estrela dura tipicamente dez bilhões (10.000.000) de anos.

B.5 Asteroides



Figura B.3: Fotografia de um asteroide.⁴

Asteroides formam um grande e disperso grupo do sistema solar. O mais antigo e bem conhecido grupo forma um cinturão de asteroides entre Marte e Júpiter. Os asteroides mais distantes do Sistema Solar estão muito mais distantes que a órbita de plutão, e há ainda asteroides que chegam a se aproximar mais do Sol do que a Terra. O tamanho do diâmetro dos asteroides pode variar de algumas centenas de metros a algumas centenas de quilômetros. O maior asteroide conhecido, Ceres, é classificado com um planeta anão (próximo astro a ser descrito), e, como já foi dito, a linha que separa pequenos asteroides de meteoroides não é bem definida. A composição dos asteroides varia muito, podendo ele ser formado de gelo e aglomerado de matéria, tais

⁴ Disponível em < https://twitter.com/AsteroidWatch?ref_src=twsrc%5Etfw > Acesso em dez.2015.

como os cometas, de ligas metálicas (de ferro e níquel) ou de corpos sólidos pedregosos.

Ao final do ano de 2006 já haviam sido encontrados mais de 140 mil asteroides. Esse número cresce na casa de centenas a cada mês, tendo sido estimado que há mais de um milhão de asteroides com mais de 1 km de diâmetro no Sistema Solar. Apesar disso, por seu tamanho, eles não representam uma grande porção de massa do Sistema Solar. O tal cinturão citado anteriormente, possui menos que 1 milionésimo (1/1000000) da massa da Terra.

B.6 Planeta-anão



Figura B.4: Plutão.⁵

De acordo com a União Internacional de Astronomia (International Astronomical Union – IAU), um planeta-anão é definido como um corpo celeste que orbita ao redor de uma estrela, tem massa suficiente para que sua gravidade seja intensa o bastante para que sua matéria seja distribuída com certa simetria esférica (de forma que o corpo seja quase redondo), e cuja órbita não é “absoluta” (isso quer dizer que sua órbita pode interceptar outras órbitas planetárias, diferente dos demais planetas) e que não seja um satélite.

⁵ Disponível em < <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2015/07/sonda-new-horizons-da-nasa-capta-nova-imagem-aproximada-de-plutao.html> > Acesso em dez.2015.

O limite inferior de tamanho dos planetas-anões não é estritamente definido, visto que sua classificação depende mais de sua massa que de seu tamanho (se ela é suficiente para lhe dar a forma arredondada). Alguns exemplos de planetas-anões do Sistema Solar são Ceres, Plutão e Éris, embora estime-se que em torno de cinquenta planetas-anões serão descobertos nos próximos anos. Uma curiosidade a respeito dos planetas-anões é que eles podem possuir satélites naturais (luas). Plutão, cujo diâmetro é de 2300 km, possui cinco luas: Caronte (cujo diâmetro de 1200 km é mais que a metade do de Plutão, Nix, Hidra, Cérbero e Estige. Plutão leva 250 anos terrestres para completar sua órbita em torno do Sol, ao longo desse tempo ele fica por 20 anos terrestres mais próximo do Sol que Netuno. É nesse sentido que foi dito não possuir órbita “absoluta”. Apesar disso, não há perigo de Plutão e Netuno colidirem, já que suas órbitas ocupam planos diferentes, não coincidindo em nenhum ponto.

B.7 Satélites Naturais (luas)



Figura B.5: Lua⁶

⁶ Disponível em < <http://www.nasa.gov/feature/goddard/rare-full-moon-on-christmas-day> > Acesso em dez.2015.

Um satélite natural é um corpo celeste que orbita outro corpo (que não seja uma estrela), de forma que o centro de massa desse sistema esteja “dentro” deste outro corpo (usualmente chamado de corpo primário). Caso o centro de massa não esteja no interior de nenhum dos corpos, então esse sistema é chamado de sistema binário. Por exemplo, podemos dizer que a Lua é um satélite da Terra porque o centro de massa do sistema Terra-Lua “se encontra” na Terra. Já o sistema Plutão-Charon é um sistema binário, já que o centro de massa dele não está nem em Plutão nem em Charon. Portanto, tecnicamente, é conceitualmente errado falarmos que Charon é uma lua de Plutão. Apesar disso, este é um fator puramente técnico, não sendo incomum o uso da frase para fins de simplificação. Apenas dois dos planetas do Sistema Solar não possuem luas: Mercúrio e Vênus. A Terra é o único planeta que possui apenas uma lua.

Há três formas básicas de formação de luas. Durante o processo de formação de uma estrela, diversas porções “pequenas” de sua massa podem ser espalhadas. Essas porções formam os diversos astros que compõem um sistema estelar, orbitando em torno da estrela que o originou devido o campo gravitacional dela, ou, se escapa desse campo, pode vir a compor outro sistema. É possível que essa porção seja dividida em partes menores, e, devido à proximidade entre essas partes, uma (ou mais) dessas pequenas porções podem ficar presas pelo campo gravitacional da porção mais massiva. Assim, essa porção (ou essas porções) capturada passa a ser uma lua, que orbita a porção maior, podendo esta ser um planeta, um planeta anão ou mesmo um asteroide. Essa é uma das três maneiras de surgimento de um satélite natural. Outra possibilidade é que um astro “pequeno” (tal como um asteroide ou meteoróide) seja capturado pelo campo gravitacional de um astro mais massivo, passando a orbitá-lo. Esse astro mais massivo pode ser um planeta ou mesmo outro asteroide. Por fim, é possível que um corpo celeste, digamos um planeta, ao ser atingido por outro, perca um pedaço seu devido à colisão. Mais uma vez, caso esse pedaço seja preso pelo campo gravitacional desse planeta de forma que ele o orbite, esse pedaço passa a ser uma lua desse planeta.

B.8. Planetas

A definição de planeta segundo a União Internacional de Astronomia é muito semelhante à definição de um planeta anão. Ambos são corpos celestes que orbitam ao redor de uma estrela e têm massa suficiente para que sua gravidade seja intensa o bastante para que sua matéria seja distribuída com certa simetria esférica (de forma que o corpo seja quase redondo). A distinção entre os dois é que a órbita de um planeta é “absoluta” (isso quer dizer que sua órbita não intercepta outras órbitas planetárias). Em outras palavras, ele não “divide sua órbita (ou partes dela) com outros planetas. Assim, a principal razão para Plutão ter sido classificado na Assembleia Geral da União Internacional de Astronomia, que ocorreu em 2006, como planeta anão é o fato de ele, como já foi dito, ter um pequeno trecho de sua órbita na qual ele fica mais próximo do Sol que Netuno.

O nosso Sistema Solar é composto por oito planetas. São eles (em ordem crescente de proximidade com o Sol): Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Os quatro primeiros são rochosos, e os quatro últimos são gasosos, exceto por seus núcleos, também rochosos. Para uma descrição clara e sucinta deles (além do Sol e de outros corpos menores do Sistema Solar), recomendamos o vídeo Jornada no Sistema Solar produzido por Igor Borgo e Marta F. Barroso⁷. Apesar disso, segue uma breve descrição deles em ordem crescente de proximidade com o Sol:

⁷ Disponível em <www.youtube.com/playlist?list=PL206DF09E960888F7> Acesso em jan.2016

B.8.1. Mercúrio



Figura B.6: Mercúrio.⁸

Mercúrio é o menor planeta do Sistema Solar, sendo pouco maior que a nossa Lua. Apesar de ser o mais próximo do Sol e de, em função disso, atingir altíssimos valores de temperatura, a média de sua temperatura é a segunda maior, perdendo para Vênus. Isso porque Mercúrio não possui atmosfera, fazendo com que a parte que não receba incidência de luz solar (durante a noite) esfrie rapidamente. Em função disso, a sua temperatura pode variar de $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $420\text{ }^{\circ}\text{C}$. A incidência da luz do Sol sobre o planeta é quase perpendicular ao seu eixo de rotação, o que faz com que sejam regiões nos polos onde a temperatura permanece sempre abaixo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, é comum que haja gelo nessas regiões. Acredita-se que esse gelo seja proveniente de cometas que colidiram com o planeta. Mercúrio possui um grande núcleo de ferro com cerca de 1.900 Km de raio, o restante de sua crosta engloba cerca de 600 km composta por silicatos.

⁸ Disponível em < http://www.explicatorium.com/quimica/Planeta_Mercurio.php > Acesso em dez.2015.

B.8.2. Vênus



Figura B.7: Vênus.⁹

Vênus, é o terceiro corpo celeste mais brilhante visto aqui na Terra, perdendo apenas para o Sol e a Lua. Como já foi dito, é o planeta mais quente do Sistema Solar. Isso ocorre porque sua atmosfera é densa e composta por dióxido de carbono (CO_2), gerando no planeta um efeito estufa muito mais intenso que o da Terra. Sua temperatura pode chegar à 460 °C, suficiente para derreter chumbo. Vênus é quase do mesmo tamanho que a Terra. Ele e Mercúrio são os únicos planetas do nosso sistema que não possuem luas.

⁹ Disponível em < [https://pt.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9nus_\(planeta\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9nus_(planeta))> Acesso em dez.2015.

B.8.3. Terra



Figura B.8: Terra.¹⁰

O nosso planeta, o quinto maior do Sistema Solar (seu raio mede aproximadamente 6.400 km), é até o momento, o único que se sabe possuir vida. Isso ocorre principalmente por dois fatores: a existência de água líquida e de oxigênio gasoso (que compõem 21% da nossa atmosfera), ambos essências para a vida, apesar do fato de existirem diversos organismos mais simples que vivem sob condições extremas. Cerca de 71% de sua superfície é coberta por água. O interior do nosso planeta é formado por um núcleo sólido de níquel e ferro. Sua temperatura pode chegar a 7200 °C, mais quente que a própria superfície do Sol (a superfície do Sol atinge cerca de 5500 °C, porém no núcleo a temperatura pode chegar até a 15.000.000 °C). A Terra também possui outra peculiaridade, sua lua é a maior em comparação com o planeta que ela orbita. Por pouco o sistema Terra – Lua não é um sistema binário.

¹⁰ Disponível em < <http://planeta-terra.info/> > Acesso em dez.2015.

B.8.4. Marte

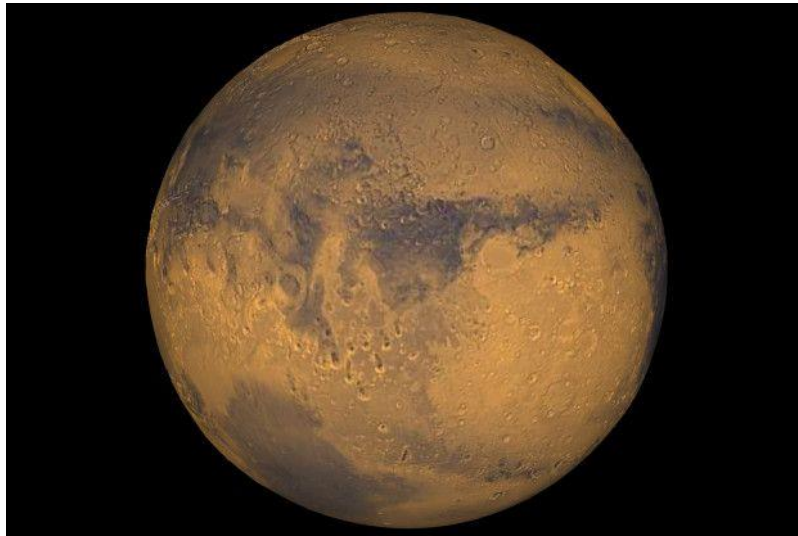


Figura B.9: Marte.¹¹

Marte é o segundo menor planeta do nosso sistema, sendo aproximadamente duas vezes maior que Mercúrio. Ele é comumente chamado de planeta vermelho, mas isso não se deve a sua temperatura. Apesar de possuir uma atmosfera também composta essencialmente de dióxido de carbono, ela é uma camada fina. As temperaturas de Marte podem variar de -120 °C à 20 °C. Sua coloração se deve às substâncias que compõem suas rochas. Em Marte estão as maiores montanhas e depressões do Sistema Solar. Lá se encontra o Monte Olympus, a maior montanha do Sistema Solar, com 27.000 m de altitude. Neste planeta também se encontra o Valles Marineris, um sistema de Canyons de 4.000 km de comprimento e profundidade que varia de 2 à 7 km. Marte possui duas luas, Fobos e Deimos.

¹¹ Disponível em < http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/09/150928_marte_descobertas_cc > Acesso em dez.2015.

B.8.5. Júpiter

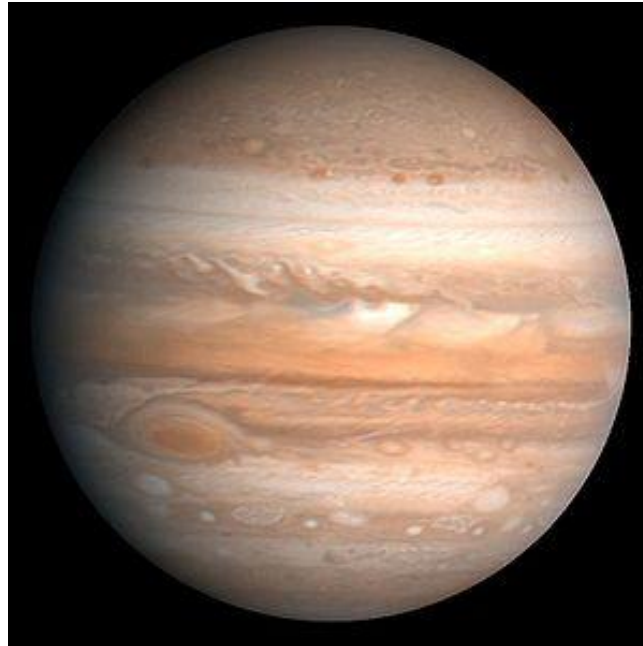


Figura B.10: Júpiter.¹²

Júpiter é o maior planeta do Sistema Solar. Ele é tão grande que nessa mancha perto da metade equatorial do planeta (ver figura acima) cabem quatro planetas Terra. Sua massa equivale a 318 vezes a massa da Terra, essa quantidade é maior do que duas vezes a massa de todos os outros planetas juntos. Por essa incrível massa, o campo gravitacional de Júpiter atrai diversos corpos menores do nosso sistema, tendo ele mais de sessenta luas, e muitas outras ainda podem ser encontradas. Júpiter possui também um intenso campo magnético, que gera constantes auroras (boreais e austrais) em seus pólos. Além disso, Júpiter também possui anéis, como todos os planetas gasosos do nosso sistema, porém eles são extremamente pequenos sendo difícil sua visualização mesmo com poderosos telescópios. Júpiter é composto basicamente por cerca de 90% de hidrogênio e 10% de hélio. Acima de seu núcleo, que acredita-se ser rochoso e equivalente a 15 vezes a massa da Terra, encontra-se o hidrogênio metálico líquido. Esse elemento é encontrado nessa forma somente a pressões superiores a 4 000 000 de atmosferas.

¹² Disponível em < [https://pt.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter_\(planeta\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter_(planeta)) > Acesso em dez.2015.

B.8.6. Saturno



Figura B.11: Saturno.¹³

Saturno é o “Senhor dos Anéis” do Sistema Solar, sendo o único que possui anéis visíveis aqui da Terra (através de telescópios). Esses anéis são compostos basicamente de gelo e, apesar de seus diâmetros poderem chegar a 250.000 km, sua espessura não passa de 200 m. E apesar de parecerem contínuos, eles são formados por vários pedaços de diferentes tamanhos. Se os anéis fossem condensados num único corpo, este não teria mais que 100 km de raio. Como Júpiter, Saturno é composto basicamente por hidrogênio (cerca de 74%) e hélio (cerca de 25%). Ele é o segundo maior planeta do Sistema Solar.

¹³ Disponível em < <http://astro.if.ufrgs.br/solar/saturn.htm> > Acesso em dez.2015.

B.8.7. Urano

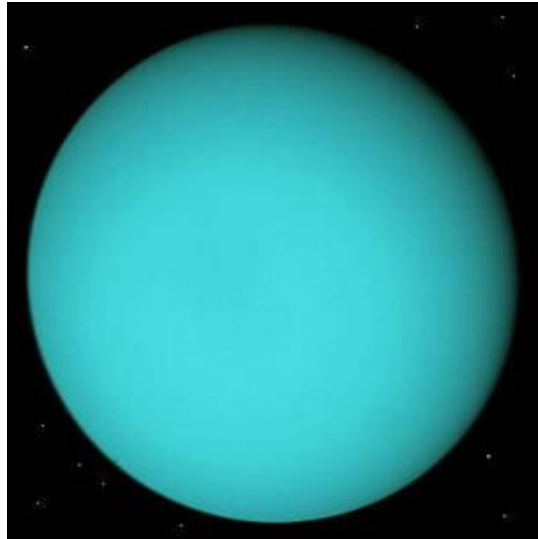


Figura B.12: Urano.¹⁴

Urano, sendo o sétimo planeta mais próximo do Sol, não é visível à olho nu daqui da Terra, sendo necessário um telescópio para visualizá-lo. Curiosamente, a rotação do Planeta se dá em torno de um eixo quase paralelo ao plano de sua órbita, diferente dos demais, cujo eixo de rotação é praticamente perpendicular ao plano da órbita. A cor azulada do planeta se deve ao metano em sua atmosfera, que absorve a luz vermelha.

B.8.8. Netuno



Figura B.13: Netuno.¹⁵

¹⁴ Disponível em < <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/urano-2.htm> > Acesso em dez.2015.

Netuno, que também possui coloração azulada pelos mesmos motivos que Urano, possui os mais rápidos ventos entre os planetas do nosso sistema. Por ser um planeta gasoso, há constantes tempestades nele, com ventos que chegam a 2000 km/h.

B.9 Estrelas

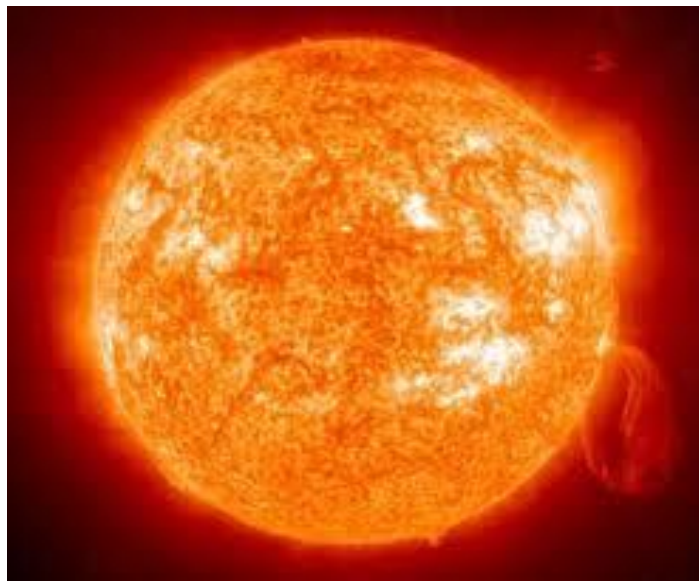


Figura B.14: Sol.¹⁶

Estrelas são corpos que sempre chamaram a atenção do homem e há diversos motivos para isso. Elas representam a maior quantidade de matéria entre os corpos celestes (considerando nosso Sistema Solar, por exemplo, a massa do Sol compõe aproximadamente 99% da massa total do sistema). São maiores e os únicos corpos que emitem luz própria (os demais astros apenas refletem a luz das estrelas), o que as torna muito mais visíveis do que os demais corpos celestes.

Para começar a entender o que é uma estrela, devemos nos perguntar do que ela é feita. Apesar de ser tão distinta dos demais astros, a única diferença (ou, pelo menos, o

¹⁵ Disponível em < <http://www.megacurioso.com.br/universo/55533-conheca-alguns-fatos-e-curiosidades-sobre-o-planeta-netuno.htm> > Acesso em dez.2015.

¹⁶ Disponível em <http://www.rankbrasil.com.br/Recordes/Materias/06.n/Estrela_Mais_Proxima_Da_Terra> Acesso em dez.2015.

que causa todas as demais diferenças) entre uma estrela e os demais corpos celestes é a sua massa. Todo o nosso universo é composto, num nível mais fundamental, de átomos, e as estrelas não são exceção dessa regra. O nosso Sol, por exemplo, é composto (em sua maior parte) de hidrogênio (quase 75%) e hélio (quase 25%). Se elas são compostas das mesmas substâncias mais elementares que o restante dos astros, de onde vêm essa diferença com os demais? Por que, por exemplo, elas são os únicos corpos celestes que emitem luz própria? Elas o fazem em função de sua temperatura. Todo corpo emite radiação eletromagnética, e a radiação emitida depende da temperatura deste corpo. O corpo humano, por exemplo, que se encontra à aproximadamente 37 °C, emite radiação infravermelha. Essa é uma radiação que os nossos olhos não conseguem enxergar, mas há equipamentos que conseguem detectar essa radiação. As chamadas câmeras de vigia noturnas são equipamentos que detectam essa radiação, conseguindo visualizar pessoas mesmo que não haja luz. Na verdade, é daí que vêm a expressão infravermelho, pois ela é uma “cor” abaixo da cor vermelha em termos de frequência, sendo o vermelho a cor de menor frequência que o olho humano consegue captar. A frequência da luz está associada à sua energia, assim, o vermelho, cuja frequência é maior que o infravermelho possui também mais energia que essa radiação invisível para nós. Assim, quando aumentamos a temperatura de um corpo, ele passa a emitir uma radiação de maior energia. Esse é o motivo do ferro em brasa emitir um brilho rubro. Se continuarmos a aquecer um corpo que brilha em vermelho, ele mudará de tom gradualmente para o laranja, o amarelo, o branco e por fim para o azul. Esse também é o princípio da lâmpada incandescente, que possui um filamento em seu interior (um resistor) que é aquecido de tal forma que ele emita luz (geralmente de cor amarela). Por isso mesmo ela é uma das menos econômicas, pois grande parte da energia elétrica que ela consome é perdida na forma de calor, sendo apenas uma parcela dela convertida em energia luminosa. Outras lâmpadas como a fluorescente e as lâmpadas de Led emitem luz através do “salto” dos elétrons de um nível atômico mais baixo para um mais alto e do seu posterior retorno aos níveis inferiores (a luz é emitida “na volta”), consumindo menos energia elétrica para iluminar os ambientes.

Assim, as estrelas brilham porque possuem um valor de temperatura que as façam emitir radiação visível para nós. Esse conhecimento é usado para estimar a idade de uma estrela. Se uma estrela é jovem, cheia de “combustível” para queimar (essa frase

fará sentido mais adiante), ela emitirá luz azul. Conforme ela vai envelhecendo, sua energia diminui, fazendo com que seu brilho mude de cor na ordem inversa da dita anteriormente (do azul para o branco, depois para o amarelo, o laranja e por fim o vermelho). Nosso Sol, por exemplo, é amarelo, o que indica que ele está aproximadamente na metade de sua vida. Como uma estrela dura tipicamente dez bilhões de anos, o Sol deve ter algo em torno de cinco bilhões. Até esse ponto você deve estar se perguntando por que as estrelas possuem a temperatura mais elevada que os demais astros. A resposta para essa pergunta já foi fornecida no início do parágrafo anterior: Devido sua massa. Todo corpo que possui massa “gera” um campo gravitacional. Quanto maior a massa de um corpo, maior o campo gravitacional associado a ele. As estrelas são extremamente massivas????, tanto que todos os corpos menores que se aproximam dela são presos em seu campo gravitacional. Por isso formam-se os sistemas planetários como o nosso Sistema solar, na qual uma infinidade de corpos “pequenos” orbitam uma estrela. Os campos gravitacionais das estrelas são tão intensos que, num certo sentido, elas colapsam sobre elas mesmas. Seus átomos são forçados uns contra os outros de forma tão intensa que sofrem um processo denominado fusão nuclear, na qual seus átomos se fundem, formando átomos mais pesados, e liberando enorme quantidade de energia térmica durante o processo. No caso do Sol, os átomos de hidrogênio se fundem em átomos de hélio. Uma estrela está, portanto, em constante explosão. Essas explosões elevam tanto sua temperatura que elas se encontram no quarto estado da matéria (além do sólido, líquido e gasoso), o plasma. A diferença básica entre o gás e o plasma é o fato de o plasma estar ionizado, o que o torna suscetíveis a campos elétricos e magnéticos. No nosso dia a dia estamos mais acostumados com o plasma em certas tecnologias como a lâmpada de plasma e a TV com tela de plasma. Elas não estão nesse estado pela sua temperatura, mas sim pelo fato de terem sido ionizadas através de uma corrente elétrica. Apesar de ser o menos conhecido, o plasma é o estado mais abundante no universo, já que as estrelas, como já foi dito, compõem a maior quantidade de matéria entre todos os astros.

B.10. Tamanhos, distâncias e tempos em escala astronômica

Talvez você tenha reparado que praticamente toda vez que as palavras grande ou pequeno tenham sido usadas neste texto, elas estavam entre aspas. O mesmo acontece com alguns termos que indicam duração temporais curtas ou longas. Isso ocorre pois, ao tratarmos de assuntos relacionados à Astronomia, lidamos com uma escala totalmente diferente da nossa. No texto sobre cometas, por exemplo, foi dito que eles possuem vida curta, podendo durar algumas centenas de milhares de anos. Para nós esse tempo não é nem perto de ser considerado pequeno, porém, logo após isso foi dito que as estrelas duram aproximadamente dez bilhões de anos. Em comparação a esse valor, podemos dizer que a vida de um cometa é de fato curta. Por tratar de números incrivelmente grandes, a escala astronômica pode confundir muitos leitores principiantes, já que mesmo as menores medidas nessa escala costuma ser tão grandes que perdemos a noção da comparação. O mesmo ocorre com as medidas de distância. Mercúrio está a incríveis cinquenta e sete milhões e novecentos e dez mil quilômetros do Sol. Esse valor pode parecer extenso para nós, mas ele é o planeta mais próximo do Sol de todo o Sistema Solar. Se compararmos esse valor com a distância de Saturno ao Sol (um bilhão, quatrocentos e vinte e nove milhões e quatrocentos mil quilômetros), por exemplo, ela já não parece grande coisa. Imagine então se compararmos com a distância do Sol à outra estrela, como por exemplo, a estrela Alfa centauro, que dista inimagináveis quarenta e um trilhões de quilômetros da nossa estrela. E o mesmo pode ser dito do tamanho dos corpos celestes. Por isso, os astrônomos costumam usar unidades de medida adequada a esses valores. Uma unidade bastante utilizada é o ano-luz, que, apesar do nome, é uma unidade de distância, correspondendo ao tempo que a luz se propaga em um ano, e equivalente a nove trilhões, quatrocentos e sessenta e um bilhões de quilômetros. Outra unidade bastante utilizada é o megaparsec, que vale três milhões, duzentos e sessenta e dois mil anos-luz.

Para termos uma noção mais clara dessas incríveis dimensões do nosso Sistema solar, vamos fazer três comparações de medidas astronômicas comparando-as com

medidas do nosso dia a dia. Faremos uma comparação com medidas de tamanhos, uma com medidas de distância e uma com medidas de tempo.

B.10.1. Tamanho

Os corpos do Sistema Solar possuem uma incrível variedade de tamanhos. Enquanto há astros de algumas centenas de quilômetros de diâmetro, há outros com milhares de quilômetros, com a nossa estrela medindo mais de um milhão de quilômetros. Com essas medidas fica difícil termos uma noção clara da diferenças entre esses tamanhos. Diversas imagens são encontradas em livros ou em sites com comparações entre os corpos do Sistema Solar. Qualquer um (desde que se trate de uma fonte confiável) é válido para que se tenha a noção dessa diferença. A imagem abaixo foi extraída do site da USP (Universidade de São Paulo).

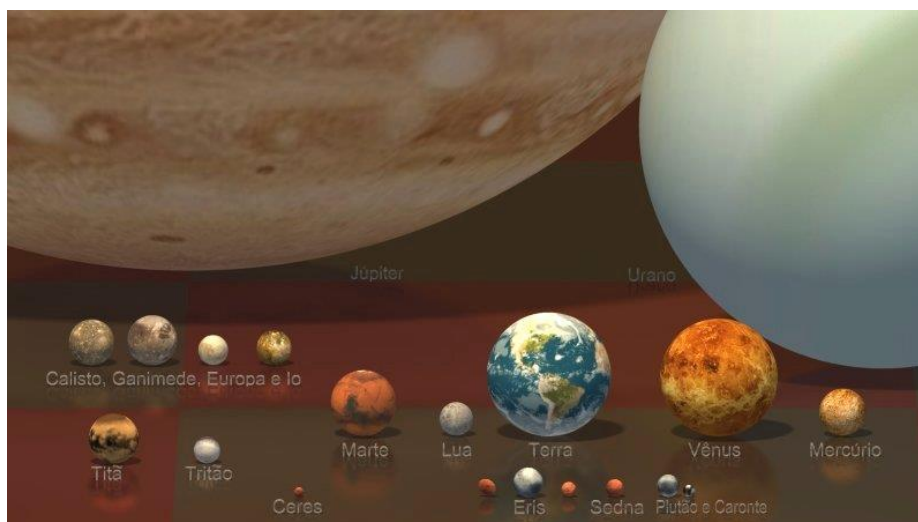


Figura B.15: Comparação entre o tamanho dos planetas do Sistema Solar em escala.¹⁷

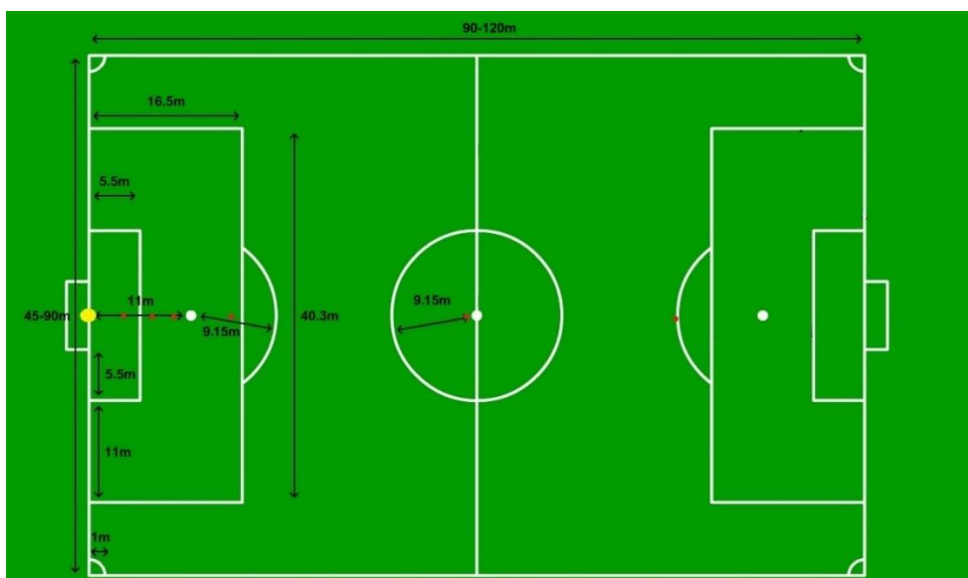
Na página em questão outras imagens em escalas diferentes são feitas para que se veja também astros maiores como o Sol e outras estrelas, mas quando isso é feito, os astros menores acabam “sumindo” em comparação aos demais. Há também vídeos que

¹⁷ Disponível em < <http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/PlanetasEstrelas/>> Acesso em dez.2015.

mostram essa comparação entre os tamanhos¹⁸. Mas uma vez, não é muito relevante a escolha do vídeo desde que a fonte seja confiável.

B.10.2. Distância

Também não é difícil encontrar comparações entre as distâncias dos planetas do Sistema Solar. Entretanto, não é muito comum imagens comparativas considerando que, quando analisamos em ordem crescente de proximidade com o Sol, as distâncias crescem tão rapidamente que fica difícil ter todas em uma só imagem. Para tentar dar uma noção dessas diferenças, foi feita uma imagem comparativa bem simples, mas que já nos fornece uma ideia das medidas reais. Para construí-la, as distâncias dos planetas (consultadas no site da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica - OBA¹⁹) foram submetidos a uma escala que ficassem “boas” visualmente em um campo de futebol (o mesmo foi escolhido considerando a grande popularidade do esporte). Para isso, a escala escolhida foi tal que um milhão de quilômetros equivaleriam a aproximadamente setenta e dois milímetros (na verdade a escala foi 1.000.000 km - 0,0724 m). Depois de convertidos os valores, pontos correspondentes aos planetas foram plotados numa imagem que representa um campo de futebol de forma que o Sol estivesse na linha de um dos gols. A imagem resultante encontra-se na figura abaixo.



¹⁸ Um exemplo de vídeo pode ser encontrado em <<https://www.youtube.com/watch?v=HEeh1BH34Q>> Acesso em jan.2016.

¹⁹ Disponível em < <http://www.oba.org.br/cursos/astronomia/tabelacomasdistanciasmedias.htm> > Acesso em out.2015

figura B.16: Comparação entre a distância dos planetas do Sistema Solar em escala.

O importante nessa imagem é a distância horizontal. Como um campo de futebol oficial tem suas distâncias variáveis como indicado na figura (no caso do comprimento do campo, ele varia de noventa a cento e vinte metros), foi escolhido um campo de cento e vinte metros de comprimento. Repare que o Sol está na linha do gol do lado esquerdo da figura. Da esquerda para a direita foram dispostos os planetas do Sistema Solar em ordem crescente de distância. Assim, Mercúrio é o ponto dentro da pequena área, Vênus, e depois a Terra estão à esquerda da marca do pênalti, Marte é o último planeta dentro da grande área, Júpiter está quase no meio do campo, Saturno está na fronteira da outra área e os outros dois planetas sequer couberam no campo. Caso houvesse outro campo colado a este (e à sua direita), Urano estaria pouco depois da metade deste campo, e caso houvesse um terceiro, Netuno estaria próximo da área da direita deste terceiro campo. Repare como é difícil construir uma só imagem contendo todas as distâncias já que, se reduzirmos elas escolhendo outra escala, os primeiros planetas ficaram praticamente indistinguíveis.

B.10.3. Tempo

Assim como no caso dos tamanhos e das distâncias, os intervalos de tempo em escalas astronômicas tendem a nos confundir. Os números são tão grandiosos que dificilmente temos uma noção clara do que eles representam. Como já dissemos, um cometa deve durar algumas centenas de milhares de anos. Este passar de tempo é tão inimaginável para nós que mesmo comparações com outros números nessa escala acabam perdendo um pouco de significado. Por exemplo, também foi dito que uma estrela dura tipicamente dez bilhões de anos. Sabemos então que uma estrela dura muito mais que um cometa, mas quão grande é essa diferença? Se nós fossemos uma estrela, o quão rápido nos pareceria o passar da vida de um cometa? Nossa noção temporal depende do nosso ponto de vista ainda mais do que a noção espacial. Se dissermos a uma criança de dez anos que ele terá de esperar cinco anos para que tenha algo que ele quer, esse tempo parecerá uma eternidade para ela. Se dissermos a mesma coisa para um adolescente de quinze anos, este tempo, embora igualmente longo, parecerá menor, em certo sentido, do que pareceu para a criança. Se o mesmo for dito para um adulto de

quarenta anos, menos significativa ainda será essa duração, e assim por diante. Buscando uma comparação clara sobre os tempos na escala astronômica, descreveremos abaixo uma comparação feita em por Waga²⁰. Ela é análoga ao que as pessoas costumam fazer para descrevermos a idade dos cachorros. Como eles duram tipicamente muito menos do que a nossa espécie, diz-se que cada ano de vida deles equivalem a seis anos nossos. Assim, uma cachorrinha de três anos equivale a uma jovem de dezoito, e uma de dezesseis anos equivale a uma senhora de noventa e seis.

Seguindo a comparação de Waga, imagine que a Terra, cuja estimativa de vida atinge quatro bilhões e meio de anos, seja uma mulher de quarenta e cinco anos. Sendo esse o caso, as primeiras formas de vida em nosso planeta teriam surgido há trinta e cinco anos atrás (ou seja, quando a Terra tinha dez anos), a vida nos oceanos era abundante apenas há seis anos, as plantas e os animais habitaram a terra há quatro anos, os dinossauros atingiram seu ápice há um ano e desapareceram há quatro meses, os primeiros humanoides apareceram há uma semana, a nossa espécie (*homo sapiens*) surgiu há quatro horas, a agricultura foi inventada há uma hora e os portugueses chegaram pela primeira vez no Brasil há três minutos. Segue abaixo uma tabela com a comparação entre os valores reais (aproximados) e comparativos dos acontecimentos descritos.

Acontecimento	Há quanto tempo ocorreu Valor real (em anos)	Há quanto tempo ocorreu Valor comparativo
O planeta Terra “nasceu”	4.500.000.000	45 anos
Surgiram as primeiras formas de vida	3.500.000.000	35 anos
A vida nos oceanos é abundante	600.000.000	6 anos
Plantas e animais habitam a terra	400.000.000	4 anos
Os dinossauros atingem seu ápice	100.000.000	1 ano
Os dinossauros são extintos	33.333.333	4 meses
Surgiram os primeiros	2.083.333	1 semana

²⁰ Colóquio apresentado em 2015, no Instituto de Física da UFRJ, pelo prof. Ioav Waga, “100 anos de cosmologia, panorama atual e desafios”. Comunicação privada.

humanoides		
Surgiu a nossa espécie (o homo sapiens)	49.603	4 horas
A agricultura foi inventada	12.401	1 hora
Os portugueses chegaram ao Brasil	516	3 minutos

Figura B.17: Comparação entre o decorrer do tempo na escala astronômica com a de uma pessoa de 45 anos.

B.11. A questão do investimento na pesquisa espacial

Em 25 de março de 2015 foi publicada uma matéria no site do G1 acerca de uma missão espacial da N.A.S.A., agência espacial norte americana, planejada para dezembro de 2020²¹. A missão consistiria na extração, feita por uma nave-robô, de um grande bloco rochoso e o seu envio para a Lua (de forma que ele fique em órbita ao redor dela). O objetivo básico é que essa rocha se transforme em um destino de treinamento para futuras missões à Marte. O custo estimado da missão é de 1,25 bilhão de dólares, não incluindo gastos com o lançamento.

Notícias como essa costumam ser recebidas com muitos comentários que depreciam os gastos na pesquisa espacial, com argumentos que se baseiam na premissa de que a pesquisa espacial não tem retorno. Os comentários mais drásticos (e também os mais vazios) costuma ser do tipo “e tanta gente passando fome no mundo”. Antes mesmo de defender a pesquisa espacial, vamos nos lembrar que há gastos exorbitantes muito menos nobres que a pesquisa científica, em qualquer gênero que seja. Um exemplo disso são as despesas em armamentos, que segundo dados do Stockholm International Peace Research Institute²², no ano de 2008 somaram 970 bilhões de dólares nos E.U.A.. Embora esse valor seja para as despesas militares em geral, o que não se resume a gastos em armamentos, essa é uma quantia que bancaria 776 projetos do mesmo porte que o da missão citada. Além disso, é um erro achar que as pesquisas espaciais não tem retorno para a sociedade como um todo. Embora muitas vezes propagandas do gênero sejam ouvidas com desconfiança, muitos produtos são anunciados com a seguinte frases “desenvolvido com tecnologia da N.A.S.A.”. Um

²¹ Disponível em <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2015/03/nasa-vai-usar-bloco-extraido-de-asteroide-para-treinar-missoes-a-marte.html>> Acesso em mar.2016.

²² Disponível em <<http://www.sipri.org/yearbook/2009/05/05A>> Acesso em out.2015.

exemplo disso são certos tipos de travesseiros. Embora os céticos possam se perguntar “por que a N.A.S.A. quer desenvolver linhas de travesseiros?”, a agência espacial norte americana de fato contribui para o desenvolvimento (ou o aperfeiçoamento) de diversos produtos de nosso cotidiano. Isso não quer dizer que ela queira especificamente fabricar travesseiros melhores, mas que sua tecnologia foi usada para tanto por alguma empresa. Isso é possível pois a N.A.S.A., desde a década de 70 divulga suas descobertas científicas como uma forma de colaborar para o progresso da humanidade, de forma a justificar o financiamento em seus projetos. O Jornal “Spinoff” da N.A.S.A. destaca os produtos ligados à sua pesquisa. De fato, a N.A.S.A. já registrou mais de 6300 patentes com o governo americano. No caso do travesseiro, então, a N.A.S.A. poderia ter feito avanços na fabricação de um produto resistente e confortável para, por exemplo, desenvolver o tecido do banco na qual o astronauta senta e encosta durante a decolagem. Embora isso tenha sido desenvolvido especificamente para uma missão espacial, a divulgação de sua pesquisa permite que uma empresa especializada em desenvolver linhas de travesseiros utilize esse material para desenvolver uma linha especial (daí o termo “feito com tecnologia da N.A.S.A.”). O site da UOL listou em 21/05/2014 alguns produtos que foram criados (ou aperfeiçoados) por causa das pesquisas feitas pela agência espacial norte americana²³. Entre eles estão a câmera de celular, a “papinha” dos bebês, o travesseiro, os uniformes resistentes às chamas e ao calor usados pelos bombeiros, o termômetro, as comunicações via satélites, o filtro de água, o aspirador de pó e o aparelho ortodôntico. A própria notícia do G1 sobre a missão espacial continha um exemplo de aplicação benéfico do programa: Durante a missão, serão feitos estudos sobre as possibilidades de alterar a rota de asteroides. A reportagem lembra que há aproximadamente 65 milhões de anos um asteroide gigante colidiu com o nosso planeta gerando drásticas mudanças climáticas que causaram a extinção dos dinossauros e da maioria da vida na Terra na época. Lembremos também do episódio dos 33 mineiros soterrados na mina de San José, no Chile, em 2010. O resgate dos mesmos foi feito com a capsula Fênix II, projetado pela N.A.S.A.

²³ Fonte: Nasa Scientific and Technical Information
Disponível em < <http://ciencia.hsw.uol.com.br/10-tecnologias-nasa.htm> > Acesso em out. 2015.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

A LEI DE HUBBLE

Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte

Ioav Waga

Marta Feijó Barroso

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
02/2016

Um Plano de Ensino para todos ensinar

Objetivo

Apresentar a Lei de Hubble como uma evidência experimental da expansão do universo e, portanto, uma forte evidência a favor da Teoria do Big Bang.

Sequência

Aula 1

Começar debatendo sobre o tema Astronomia. Conversar sobre o que os alunos conhecem sobre os corpos celestes (estrelas, planetas, satélites naturais nosso Sistema Solar, etc.). Neste ponto, pedir para os alunos escreverem (bem resumidamente) sobre o que eles sabem acerca desses corpos celestes. Falar sobre distâncias e tempo na escala astronômica (sugestões: usar os vídeos, imagens e tabelas da seção B.10 do Apêndice B). Seguir com uma breve discussão do tema “modelos cosmológicos”, perguntando o que os alunos entendem de um, discutindo alguns modelos (científicos) e o atual (Big bang). As folhas com o que foi escrito por cada aluno devem ser entregues ao professor ao final da aula.

Sugestão de atividade para casa: Pesquisar sobre o surgimento de novos modelos (não precisa ser os cosmológicos, ou mesmo ligado à astronomia). Os alunos podem, por exemplo, pesquisar sobre a proposição do modelo atômico de Rutherford, ou sobre o modelo Copernicano. O ponto central é pesquisar sobre o contexto histórico da “descoberta” em questão, sobretudo da reação da comunidade (científica e não científica) à novidade. O tema não precisa necessariamente estar ligado à Física, mas à outra ciência.

Aula 2

No início da aula, possibilitar a troca dos trabalhos (proposto para casa) entre os alunos, de forma que cada um leia o trabalho de um colega. Após isso, segue-se um breve debate sobre o porquê de a Teoria do Big Bang “existir” (ser proposto e aceito no meio científico). Discutir possíveis causas da resistência das pessoas a eles (aqui,

utilizando-se os trabalhos feitos ao final da aula 1, pode ser feita uma abordagem histórica sobre a aceitação de novos modelos em geral ao longo da história, e como se deu a aceitação destes, fazendo-se um paralelo com a situação “atual”). Evidenciar que, para uma visão coerente, devemos buscar provas (evidências) para um modelo, seja ele qual for (esse modelo deve ser suscetível à teste e comprovação). Para tanto, retome o assunto dos modelos cosmológicos (da aula 1), enfatizando suas consistências com a observação (e sua substituição quando novas evidências apontavam inconsistências delas com as experimentações).

Sugestão de atividade para casa: Pedir aos alunos que pesquisem sobre evidências experimentais da Teoria do Big Bang.

Aula 3

Fazer uma breve revisão do que foi estudado até o momento, recapitulando os pontos centrais. A seguir, discutir o trabalho dos alunos da aula anterior, apresentando a Lei de Hubble como uma evidência da expansão do universo (e portanto, uma das evidências do Big Bang). Fazer a atividade do gráfico da Lei de Hubble (ela é descrita na seção C.1), e seguir com a interpretação do gráfico da referida lei. Após isso, discutir sobre os métodos indiretos. Propor aos alunos que formulem como eles acham que Hubble mediu daqui da Terra as distâncias e as velocidades de afastamento de galáxias. Debater sobre outras situações na qual métodos indiretos de medida são usados, enfatizando o poder e alcance desses métodos, ressaltando o potencial investigativo e criativo do intelecto humano.

Sugestão de atividade para casa: Propor aos alunos que pesquisem sobre outros exemplos de métodos indiretos para uma investigação científica, exaltando seus benefícios.

Aula 4

Discutir os métodos indiretos que os alunos pesquisaram em seus trabalhos, e, a seguir, apresentar o método de Leavitt da determinação da distância de uma estrela do tipo cefeida até nós usada por Hubble para se medir a distância das galáxias.

Sugestão de atividade para casa: Propor aos alunos que pesquisem sobre o fenômeno conhecido como efeito Doppler, e como esse pode ser usado (através de um método indireto) para se determinar a velocidade de certos corpos (como o “radar de velocidade” que multa os carros).

Aula 5

Apresentar o método usado por Hubble para se determinar a velocidade (radial) das galáxias em seu trabalho (usar o trabalho dos alunos como ponte para a discussão). Fazer (ou propor) a atividade da determinação da velocidade de um carro da fórmula 1 através do efeito Doppler com o programa audacity (Dias A. 2009)¹.

Aula 6

Finalizar sintetizando tudo o que foi discutido até o momento.

Sugestão de atividade (em sala)

Que cada aluno escreva uma breve redação sobre o que aprendeu ao longo deste ciclo de estudo.

Aplicação da avaliação formativa final.

Total de horas-aula: 6 a 10.

¹ Disponível em <http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/anais/2009snef/MarcoAdrianoT0092-1.pdf> Acesso em out.2015.

Atividade do gráfico da Lei de Hubble

Objetivo

Discutir e interpretar o gráfico da Lei de Hubble através da construção de um gráfico linear.

Atividade

Dividir os alunos em grupos de três a cinco alunos. Um dos integrantes de cada grupo deve andar em linha reta com passadas iguais enquanto os demais tomam as medidas do número de passadas e da correspondente distância ao ponto de partida. O aluno que andar deve dar 10 passos. Todas as medidas devem ser feitas! O resultado deve ser expresso em um gráfico com no eixo horizontal o número de passadas e no eixo vertical a medida da distância da ponta do pé do aluno ao ponto de partida.

Após a construção do gráfico, é feito aos grupos perguntas que o levam a tirar conclusões sobre o gráfico, como o padrão que ele possui e o fato de haver uma equação matemática que o descreve. Neste ponto é possível também fazer uma discussão sobre o erro das medidas (se o professor julgar conveniente). Alguns exemplos de perguntas:

- Qual linha melhor representa os pontos do seu gráfico?
- Você consegue estabelecer uma relação matemática entre as duas grandezas do seu gráfico (número de passos e distância à origem)?
- Observe o número de um dos passos, e anote a distância correspondente a ele. Agora encontre o ponto correspondente a duas vezes o número de passos do primeiro. Qual a medida da distância correspondente? Repita a operação para três vezes e depois quatro vezes o número de passos do primeiro ponto escolhido. Anote todos os resultados em fileiras.
- Escolha um ponto qualquer do gráfico. Divida o valor da distância ao ponto inicial pelo número de passos. Repita a operação para dois outros pontos quaisquer. Agora você consegue estabelecer uma relação matemática entre as duas grandezas do seu gráfico?
- A reta do seu gráfico cobre perfeitamente todos os seus pontos?

Transparências para a discussão com os alunos – um exemplo



Astronomia	
Segundo o Dicionário:	
Minidicionário Língua Portuguesa:	"Ciência do movimento e constituição dos astros."
Aurélio online:	"Ciência que estuda a posição, os movimentos e a constituição dos corpos celestes."
Outras definições, segundo o minidicionário	
Ciência	"Conhecimento, instrução, erudição; sabedoria; soma os conhecimentos humanos considerados em conjunto, segundo sua natureza e progresso."
Astros	"Nome dado a qualquer corpo celeste."

Corpos celestes

Quais corpos celestes você conhece?

O que você sabe dizer sobre eles?

Escreva numa folha!

estrela:



planeta:



Satélite natural (lua):



asteróide:



Corpos celestes

planeta anão:



cometa:



meteoróide, meteoro e meteorito:



“conjunto” de corpos celestes

constelação:



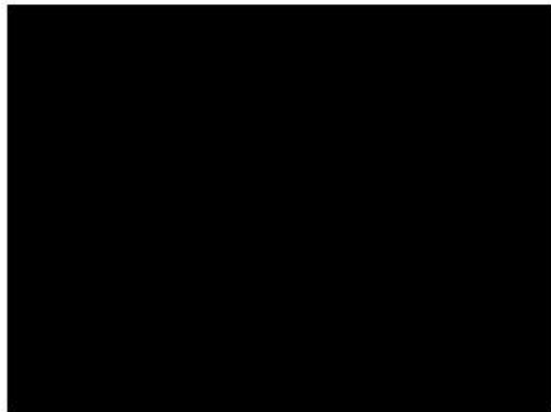
Sistemas planetários:



galáxia:

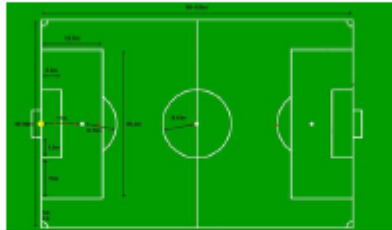


Tamanho, distância e tempo



Distância

Microscópio Tamanho: 200 mil vezes de um grão de arroz distância de luz: 41,4 metros	Unhas Tamanho: 6,7 cm (comprimento médio) distância de luz: 17,7 metros
Terra Tamanho: 12,7 mil km (comprimento médio) distância de luz: 41,4 metros	Alto Tamanho: 6,7 metros (comprimento médio) distância de luz: 17,7 metros
Carro Tamanho: 10,2 m (comprimento médio) distância de luz: 30,6 metros	Estreito Tamanho: 0,6 m (comprimento médio) distância de luz: 1,65 metros
Olho Tamanho: 2,57 cm (diâmetro médio) distância de luz: 0,77 metros	Natureza Tamanho: 3,33 m (comprimento médio) distância de luz: 9,99 metros



Tempo

- Universo – ~ 14 bilhões de anos
- Terra – 4,5 bilhões de anos (45 anos)
- Primeiras formas de vida (35 anos atrás)
- A vida nos oceanos floresce abundantemente (6 anos atrás)
- Plantas e animais na terra (4 anos atrás)
- Dinossauros atingem o máximo 1 ano atrás e desaparecem há ~ 4 meses.
- Os primeiros humanóides aparecem na última semana.
- A nossa espécie (homo sapiens) só surge há 4 horas.
- A agricultura foi inventada na última hora.
- O Brasil foi descoberto há 3 minutos.

Astronomia

Minidicionário Língua Portuguesa:	"Ciência do movimento e constituição dos astros."
Aurélio online:	"Ciência que estuda a posição, os movimentos e a constituição dos corpos celestes."
Ciência	"Conhecimento, instrução, erudição; sabedoria; soma os conhecimentos humanos considerados em conjunto, segundo sua natureza e progresso."

Cosmologia

"Ramo de Astronomia que estuda a origem, estrutura e a evolução do universo."

Modelos cosmológicos

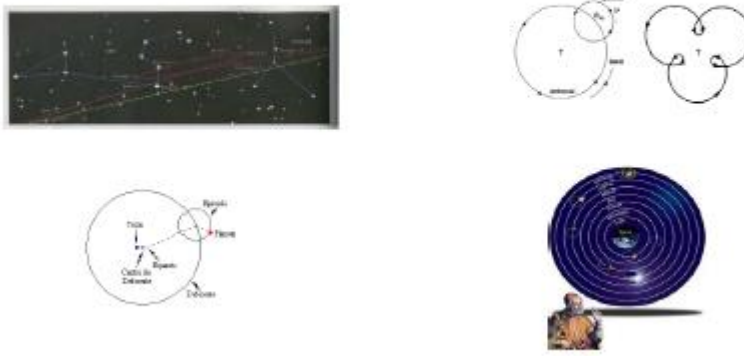
"São modelos (estudos sistematizados e organizados de forma lógica e coerente com a observação) ligados à cosmologia."

Alguns dos “primeiros” modelos

Aristóteles



Ptolomeu



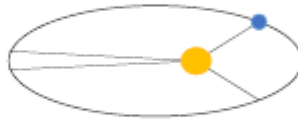
Copérnico



Planeta	Data média de órbita em U.A.		Planeta	Período (dias)	
	Copérnico	Atual		Copérnico	Atual
Mercúrio	0,2554	0,2872	Mercúrio	87,97 dias	87,97 dias
Vênus	0,7181	0,7221	Vênus	224,70 dias	224,70 dias
Terra	1,5180	1,5237	Terra	365,25 dias	365,25 dias
Júpiter	5,2181	5,2028	Júpiter	4,332 anos	4,332 anos
Saturno	9,5741	9,5398	Saturno	11,97 anos	11,952 anos
			Urano	29,44 anos	29,457 anos

Tycho Brahe e Kepler

Lei das órbitas e Lei das Áreas



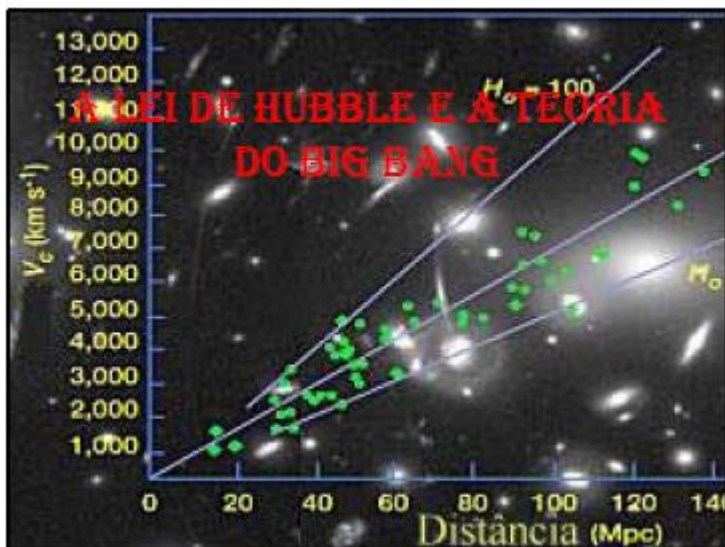
Lei dos Períodos

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{const.}$$


Isaac Newton	➔	Teoria da Gravitação Universal
Albert Einstein	➔	Teoria da Relatividade Geral
Friedmann	➔	Considerações acerca do trabalho de Einstein: Um universo dinâmico
Lemaître	➔	Aprofundamento do trabalho de Friedmann (de forma independente): O Átomo primordial
Gamow	➔	Teoria do Big Bang

Atividade para casa:

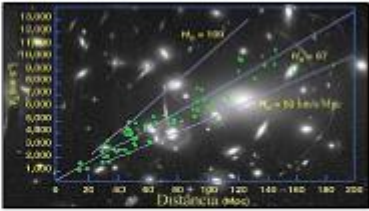
Pesquisar sobre o surgimento de novos modelos (não precisa ser os cosmológicos, ou mesmo ligado à astronomia). Vocês podem, por exemplo, pesquisar sobre a proposição do modelo atômico de Rutherford, ou sobre o modelo Copernicano. O ponto central é pesquisar sobre o contexto histórico da "descoberta" em questão, sobretudo da reação da comunidade (científica e não científica) à novidade. O modelo foi bem aceito por eles? Quanto tempo levou para que fosse completamente aceito? O tema não precisa necessariamente estar ligado à Física, mas à outra ciência.



A Lei de Hubble



Edwin Hubble
(1889/1953)



Vimos nas duas últimas aulas como se formaram os primeiros modelos cosmológicos, e como sua ocorrência e aceitação dependem, acima de tudo, das evidências experimentais.

Neste caso, quais as evidências experimentais da Teoria do Big Bang?

Das três consideradas como principais, discutiremos uma delas.

O objetivo de Hubble

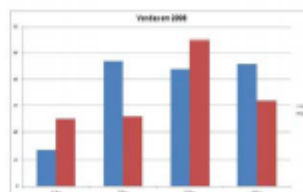
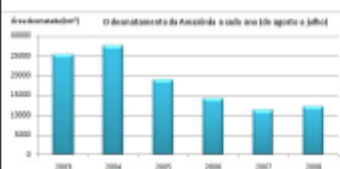
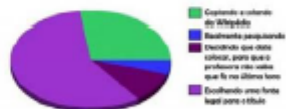
O objetivo de Hubble era investigar se existia uma relação matemática entre duas grandezas “recém medidas” acerca das galáxias: Sua distância até nós e sua velocidade radial.

Na Física, grande parte dos resultados experimentais são determinados e/ou expressos por gráficos.

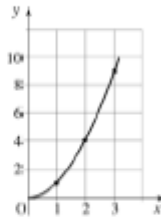
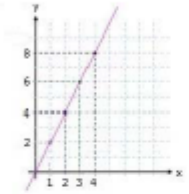
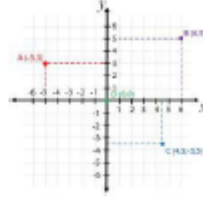
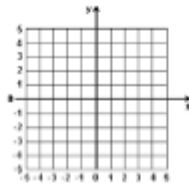
Alguns gráficos



Tempo gasto em meus trabalhos



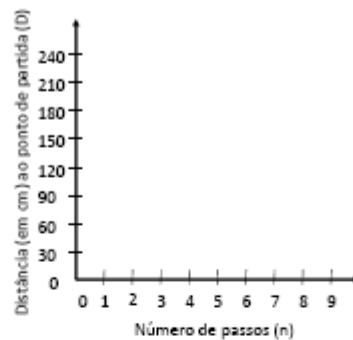
Gráficos cartesianos



Atividade: Um gráfico simples

- Formem grupos de três à cinco alunos.
- Um integrante de cada grupo deve andar em linha reta com passadas iguais enquanto os demais tomam as medidas do número de passadas e da correspondente distância ao ponto de partida. O aluno que andar deve dar pelo menos 5 passos. Todas as medidas devem ser feitas!
- O resultado deve ser expresso em um gráfico cujo eixo horizontal terá o número das passadas e o eixo vertical possuirá a medida da distância da ponta do pé do aluno ao ponto de partida.

Gráfico



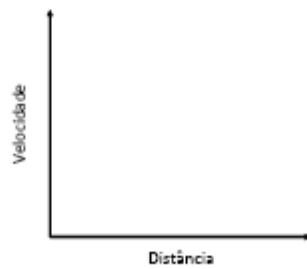
Perguntas

- ✓ Qual linha melhor representa os pontos do seu gráfico?
- ✓ Você consegue estabelecer uma relação matemática entre as duas grandezas do seu gráfico (número de passos e distância à origem)?
- ✓ Observe o número de um dos passos, e anote a distância correspondente a ele.
- ✓ Agora encontre o ponto correspondente a duas vezes o número de passos do primeiro.
- ✓ Qual a medida da distância correspondente?
- ✓ Repita a operação para três vezes e depois quatro vezes o número de passos do primeiro ponto escolhido. Anote todos os resultados em fileiras.

Perguntas

- ✓ Escolha um ponto qualquer do gráfico.
- ✓ Divida o valor da distância ao ponto inicial pelo número de passos.
- ✓ Repita a operação para dois outros pontos quaisquer.
- ✓ Agora você consegue estabelecer uma relação matemática entre as duas grandezas do seu gráfico?
- ✓ A reta do seu gráfico cobre perfeitamente todos os seus pontos?

De volta ao Hubble



O Resultado das medidas: A Lei de Hubble



$$v = H_0 \cdot D$$

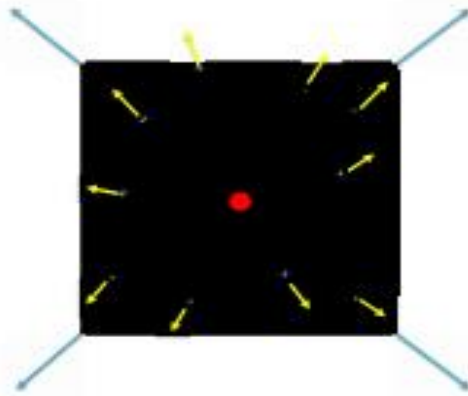
v → Velocidade

D → Distância

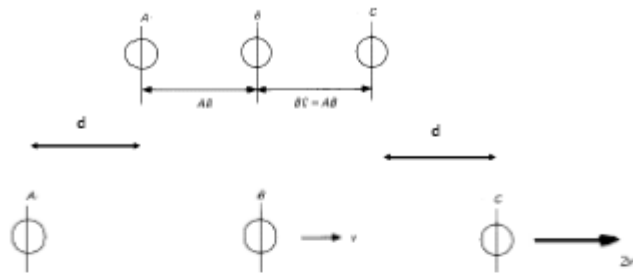
H_0 → Constante de Hubble

$$H_0 \cong 67,15 \pm 1,2 \text{ km/s Mpc}$$

A interpretação do resultado



A interpretação do resultado



Se A se afastou de B uma distância d

então C também se afastou de B uma distância d

portanto A e C foram afastados um do outro por uma distância $2d$ neste intervalo de tempo

Logo, chamando de v a velocidade com que B se afastou de A, a velocidade com que C se afastou de A é igual a $2v$

Uma analogia

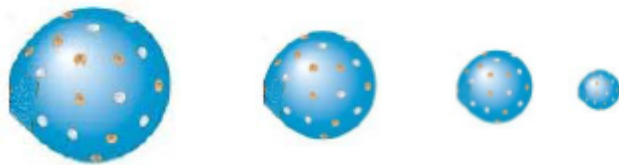


Algumas considerações

- O que representa o universo em nossa analogia é a superfície do balão, e não o seu interior!
- O seu ponto de vista deve ser uma das marcas do balão.
- A expansão dos pontos marcados no balão é irrelevante em comparação a expansão do balão como um todo.

De volta ao início: A Teoria do Big Bang

Se nosso universo cresce a cada dia, isso quer dizer que ontem ele era menor do que é hoje



E na semana passada ele era menor do que ontem...

Se voltarmos no tempo, ele será cada vez menor...

Até um instante em que ele estava todo concentrado em um único ponto.

Fora desse ponto, nada existia.

Todo a matéria do nosso universo estava contida neste único ponto.

E, a matéria não era como nós a conhecemos hoje.



Ela estava derretida, super quente e densa

Toda concentrada em um único ponto.

E, devido uma instabilidade nesse aglomerado de matéria, uma expansão começou.

E a cada dia, o universo ficava maior



Até a matéria existente nele se combinar no que conhecemos hoje em dia

Uma vez compreendido como as medidas dos gráficos do Hubble sugerem a expansão do universo...

Talvez seja natural nos perguntarmos: Como Hubble “chegou” a essas medidas?

Ele certamente não foi até as galáxias para medir suas distâncias diretamente.

O mesmo pode ser dito das velocidades delas.

Então, para determina-las, ele teve de recorrer à algum artifício que lhe proporcionasse a capacidade de estimar essas medidas.

Você consegue pensar em algo semelhante a isso?

Algum método indireto que lhe permita obter dados que não são possíveis de se obter diretamente?

Atividade para casa

Pesquise sobre um (ou mais) exemplo (s) de métodos indiretos para uma investigação científica, exaltando seus benefícios.

O método não precisa ser da Astronomia, ou da Física.

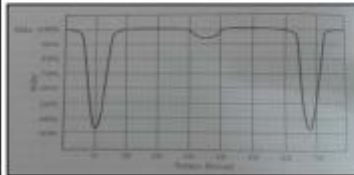
Se você pensou em algum método na discussão anterior, pesquise sobre ele e veja se ele é de fato o que você esperava que fosse.

A "CONSTRUÇÃO" DA LEI DE HUBBLE

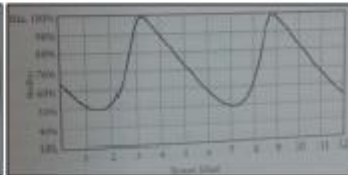
Determinando a distância à uma galáxia



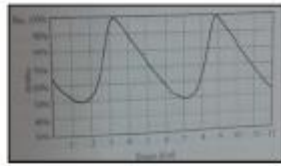
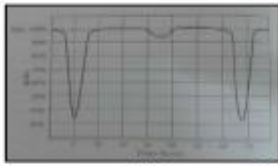
Observe os gráficos abaixo:



Algol



Delta de Cefeu



O que esses gráficos medem?

Eles estão na mesma escala?

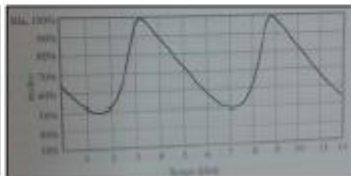
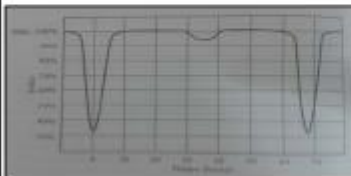
O brilho das estrelas dos gráficos são constantes?

Eles variam da mesma forma?

Qual das duas estrelas leva mais tempo para completar um ciclo de seu brilho?

Quanto tempo cada uma das estrelas leva para completar um ciclo do seu brilho?

As cefeidas



Algor – Estrela variável

Delta de Cefeus - Cefeida



John Goodricke
(1764/1786)



Henrietta Leavit
(1868/1921)

Henrietta Leavit foi a responsável pela criação de um método para determinar nossa distância às estrelas. Por ser grande estudiosa das cefeidas, conseguiu tal proeza em uma investigação a esse tipo de estrela.

Atividade

Formem grupos de três a cinco alunos.

Respondam as perguntas a seguir individualmente e, após uma breve discussão, coletivamente.

Use qualquer material que vocês tenham disponíveis para responder as perguntas, mas não saiam de seus lugares durante a atividade.

O problema do brilho aparente

Observe a imagem abaixo:



É possível dizer qual das estrelas na imagem é a mais brilhante?

É possível dizer qual delas é a maior?

É possível dizer qual delas está mais próxima de nós?

O problema da medida indireta

Ao **observar** dois corpos parecidos que estão longe um do outro e longe de você, é possível dizer qual deles é o **maior**?

É possível **comparar** o tamanho de objetos apenas pelo tamanho de suas sombras?

Um problema semelhante



Qual o maior dos pássaros na figura?

Uma hipótese e a solução

Se duas cefeidas se encontram num mesmo aglomerado de estrelas, o problema do brilho aparente pode ser desprezado, uma vez que a distância das estrelas do aglomerado é irrelevante em relação à distância deles até nós.



Período VS Brilho

Quanto maior o período de uma cefeída, maior o seu brilho.

Há uma relação matemática entre essas duas grandezas.

Sabendo o período é possível calcular o brilho "real" da estrela.

Brilho real VS Brilho aparente

O brilho de um corpo diminui com o quadrado da distância. Assim, se um corpo que brilha dobra sua distância até nós, seu brilho cai quatro vezes ($2^2=4$);

Se ele triplica a distância? ($3^2=?$)

Se ele quadruplica a distância?

Se a distância é aumentada em cinco vezes?

O raciocínio inverso - a distância relativa entre duas cefeidas

Se duas cefeidas A e B possuem o mesmo período, elas possuirão o mesmo brilho.

Se A parece 16 vezes mais brilhante do que B, então A está 4 vezes mais perto de nós do que B.

Se parecer 36 vezes mais brilhante?

Se parecer 81 vezes mais brilhante?

Se parecer 100 vezes mais brilhantes?

Isso vale para qualquer duas cefeidas!

A medida da distância

Encontrar duas cefeida no céu.

Medir seus períodos.

Determinar o brilho real de cada uma delas.

Medir o brilho aparente das duas.

Determinar que distância transforma o brilho real em brilho aparente.

Uma vez determinada a distância a uma cefeida é possível, com o método de Leavitt, determinar a distância a todas as outras!

A distância a uma Cefeida

Uma vez determinada a distância a uma cefeida é possível, com o método de Leavitt, determinar a distância a todas as outras!

O método vale para **qualquer cefeida**.

É possível estimar a distância a qualquer estrela que esteja “perto” de uma cefeida.

É possível determinar a distância a uma galáxia, desde que ela possua uma cefeida.

O Grande Debate

A “CONSTRUÇÃO” DA LEI DE HUBBLE

Parte 2: A medida da velocidade
radial das galáxias.

A espectroscopia

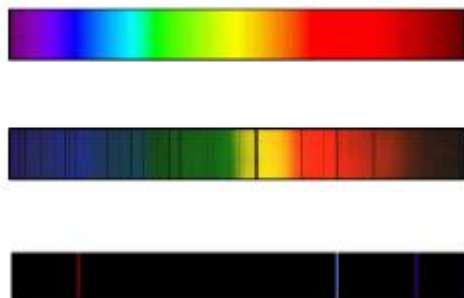
A espectroscopia estuda algumas propriedades de certos materiais incandescentes através da análise da luz emitida por eles.

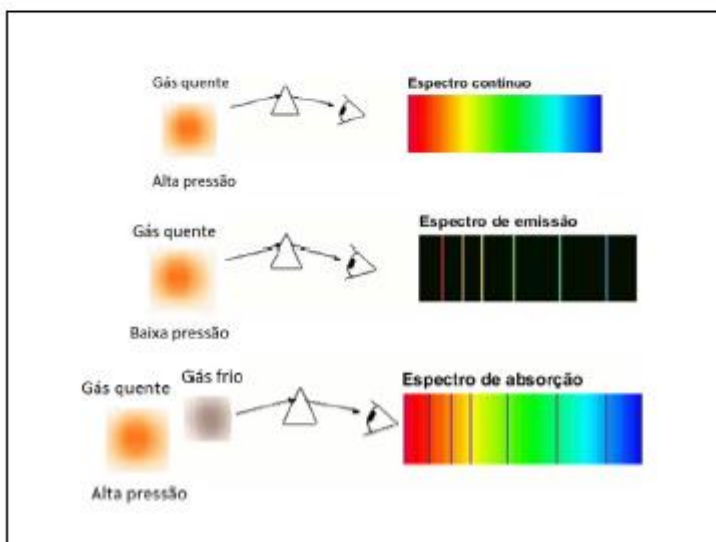
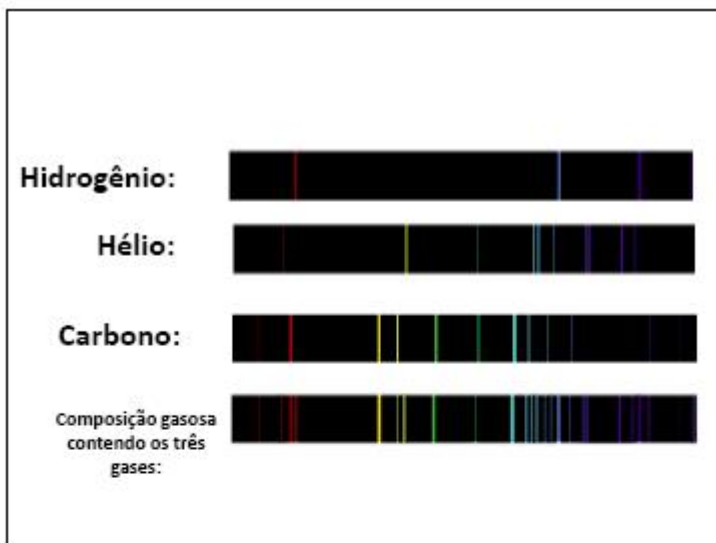


O prisma e a decomposição da luz



Avanços na espectroscopia





Desvios nas linhas de absorção: O Efeito Doppler

No dia a dia, quando uma fonte sonora está em movimento, é comum notarmos uma diferença no som emitido. De alguma forma, ele parece ser diferente de quando está parado.



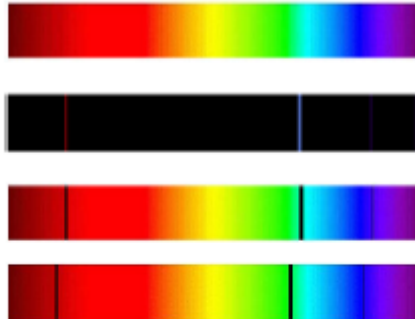
E quanto maior a velocidade do corpo que se move, maior é o efeito da mudança no som emitido por ele.



Os espectros das estrelas também sofrem esse efeito proveniente do movimento relativo entre a fonte e o observador.

Por se tratar de luz, a mudança que ocorre devido o movimento é visual.

Desvios nas linhas de absorção:
O Efeito Doppler



A determinação da velocidade

Assim como no caso do período e do brilho das cefeidas, há uma relação matemática entre o desvio das linhas espectrais e a velocidade do corpo que a emite.

Assim, conhecendo o desvio das linhas é possível determinar a velocidade do corpo que emite o espectro e se esse corpo se aproxima ou se afasta de nós.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

A LEI DE HUBBLE

Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte

Ioav Waga

Marta Feijó Barroso

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
02/2016

Jogo

Este jogo foi elaborado com a intenção de se constituir uma atividade avaliativa informal para estudantes de Física do ensino médio. O assunto concernente a ele é a Lei de Hubble como enfoque para que se possa discutir a Teoria do Big Bang e, por isso, as categorias em que (o jogo) é dividido incluem perguntas relacionadas à Astronomia, aos primeiros modelos cosmológicos, a alguns dos estudos precursores da Teoria do Big Bang e da Lei de Hubble, além de algumas relacionadas a assuntos posteriores ao tema.

O jogo pode ser usado como uma avaliação diagnóstica ou como uma avaliação formativa. No segundo caso, o jogo inclui uma regra a mais que incentive o pensamento ativo dos alunos nos temas estudados.

O jogo consiste na dedução de termos chaves (ligados ao objeto de estudo, que foi dividido em quatro categorias) através de (no máximo) cinco dicas e cujo número de casas a ser andado é tanto maior quanto menos dicas se usa para se deduzir o termo chave em questão.

Jogo

Na Figura D1, apresenta-se o tabuleiro do jogo, que deve ser impresso para aplicação em sala de aula.


INÍCIO RECEBA R\$200,00	LABORATÓRIO A	LABORATÓRIO A	LABORATÓRIO A	LABORATÓRIO B	LABORATÓRIO B	LABORATÓRIO B	LABORATÓRIO C	PEGUE UMA CARTA
LABORATÓRIO J								LABORATÓRIO C
LABORATÓRIO I								LABORATÓRIO C
LABORATÓRIO I								LABORATÓRIO D
LABORATÓRIO I								LABORATÓRIO D
LABORATÓRIO H								LABORATÓRIO D
LABORATÓRIO H								LABORATÓRIO E
LABORATÓRIO H								LABORATÓRIO E
PEGUE UMA CARTA	LABORATÓRIO G	LABORATÓRIO G	LABORATÓRIO G	LABORATÓRIO F	LABORATÓRIO F	LABORATÓRIO F	LABORATÓRIO E	PEGUE UMA CARTA

Figura D1. O tabuleiro do jogo.

D.1 Regras

Todos os jogadores começam na quina superior esquerda do tabuleiro (onde está escrito “início” e “receba R\$200,00”) e deve se mover no sentido horário. Cada um começa o jogo com R\$1000,00 e deve usar esse dinheiro para investir em suas pesquisas. Toda vez que o jogador passar pela casa inicial ele recebe mais R\$200,00. No início do jogo, responde-se uma das perguntas chaves (com todos jogando ao mesmo tempo). O jogador que acertar esta carta é o primeiro a andar seguindo a roda de jogadores no sentido horário (além de ganhar um laboratório automaticamente no local que cair). O segundo jogador começara então da próxima casa “vazia” após a casa inicial, e todos os demais depois dele. Toda vez que um jogador parar na casa inicial, deve ser movido para a próxima casa vazia ou que contenha um laboratório seu (a mais próxima que estiver da casa inicial).

Para andar, o jogador deve deduzir corretamente um termo que contém (até) 5 dicas sobre ele. A primeira dica é de graça. Da segunda em diante, cada uma delas custará R\$ 100,00; e, a cada dica, você tem direito a dar um palpite. Durante o jogo, basicamente duas opções ocorrem, o jogador pode cair numa casa correspondente a “pegue uma carta”, onde ele pode ser beneficiado ou prejudicado dependendo da carta, ou ele pode cair numa casa “laboratório”, onde ele tentará construir o seu laboratório ou usá-lo para alcançar as próximas casas. Se você acertar o termo chave na primeira dica, andará cinco casas (além de montar um laboratório naquele local), se acertar na segunda dica, andará quatro casas, e assim por diante. Caso erre, permanecerá na casa em que se encontre e a resposta do cartão **não** será revelada! Ela poderá ser usada novamente ao longo do jogo. Caso você caia numa casa com seu laboratório, a segunda dica também será gratuita pra você, e caso acerte, andará o dobro de casas. Caso caia num laboratório de alguém, além de você, o “dono” do laboratório também terá direito à dar um palpite a cada dica. Caso um dos dois acerte, o número de casas a andar será dividido entre os dois (se o número de passos for ímpar, aquele que acertou anda um a mais). Neste caso, porém, ninguém ganha um laboratório. Caso caia em um espaço “pegue uma carta”, além de ler a carte, jogue (na

próxima rodada, no espaço posterior ao desse espaço). O vencedor do jogo é aquele que completar três voltas no tabuleiro. Caso você não tenha um valor em dinheiro para pagar uma dica, você pode vender um laboratório (a sua escolha). Cada laboratório vale R\$400,00.

As regras descritas acima se aplicam as duas primeiras voltas no tabuleiro. As regras da terceira volta são descritas abaixo. Há 10 possibilidades de laboratórios: Os laboratórios A, B, C, D, E, F, G, H e I, que estão organizados em blocos de 3, e o laboratório J, que é “individual”. Eles estão divididos entre as categorias dos termos chaves descrita mais adiante. Caso um grupo possua os três laboratórios de uma letra, todas as dicas desse laboratório passam a ser de graça para esse grupo. Essa regra não se aplica ao laboratório J.

A terceira volta: Quando estiver na volta final, o jogo muda ligeiramente pra você. Agora, você fará as “perguntas” para outros jogadores. Caso o jogador acerte a sua pergunta na primeira dica, você anda uma casa e o jogador anda quatro. Se acertar na segunda, você anda duas e ele três, e assim por diante. Caso o outro jogador não acerte, você anda cinco casas, e caso seu termo (ou uma de suas dicas) esteja incorreto, o outro jogador andará cinco casas. Você pode escolher qualquer uma das categorias do jogo. A regra do laboratório se aplica da seguinte forma: Caso você esteja em um laboratório seu, o número de casas que você anda dobra, caso esteja no laboratório de outro jogador, o número de casas que o jogador anda dobra. A sua pergunta é feita para o jogador posterior à você, depois para o próximo depois dele, e assim por diante. Caso você caia no laboratório de outro jogador, ele pode dar a resposta mesmo que não seja sua vez de responder, mas ele o fará depois de o jogador da vez tiver respondido.

D.2 Categorias das palavras chaves

Bloco 1 – Astronomia básica e os primeiros modelos cosmológicos [até Copérnico]. Esses termos serão lidos para os jogadores que estiverem nos laboratórios A e B.

Bloco 2 – Mais modelos cosmológicos e a “semente” da Teoria do Big Bang [de Kepler até Lemaitrê] (temas que possibilitaram o caminho até a teoria, de acordo com o texto do Apêndice A). Esses termos serão lidos para os jogadores que estiverem nos laboratórios C, D e E.

Bloco 3 – A lei de Hubble, sua construção e a Teoria do Big bang (O foco maior é na Lei de Hubble, e sua ligação com a Teoria do Big Bang). Esses termos serão lidos para os jogadores que estiverem nos laboratórios F, G e H.

Bloco 4 – Mais sobre os temas (Perguntas aprofundadas dos temas anteriores ou introdutórias a temas posteriores). Esses termos serão lidos para os jogadores que estiverem nos laboratórios I e J.

D.3 Cartas

Toda vez que você cair nas quinas do tabuleiro (com exceção da casa inicial) você pega uma carta que pode ser um auxílio ou um estorvo para o seu jogo. Existem cartas que podem ser guardadas para se usar no futuro e cartas que devem ser usadas no momento que você as pegou. Neste segundo caso, se não for possível usar a carta considerando as condições do momento, ela é descartada.

→ Seu último artigo foi publicado, sua pesquisa ganhou mais fundos. **Receba R\$ 400,00**

→ Um equipamento do seu laboratório quebrou e você terá de pagar o concerto para continuar suas pesquisas. **Pague R\$200,00**

→ Suas pesquisas andam bem e você recebeu um investimento extra para recrutar mais gente para sua equipe. **Quando errar a próxima palavra-chave, você tem a chance de dar um palpite extra a cada dica que pedir.**

→ Seus últimos trabalhos publicados receberam duras críticas e você está com a credibilidade em baixa, tendo que financiar seu próprio trabalho. **Pague R\$300,00**

→ Você está num congresso e acaba de ter uma epifania ao assistir o trabalho de um colega. **Quando alguém do jogo errar uma palavra-chave, você tem a chance de tentar acertar logo após ele, andando o número de casas que a pessoa que acertasse andaria.**

→ Houve um grande acidente em um de seus centros de pesquisa. **Entregue um de seus laboratórios.**

→ Você tem uma mente visionária, e sabe reconhecer um bom lugar para pesquisar mesmo quando todos os demais o ignoram em função de locais “mais bem preparados”. **Vá para um bloco de laboratório da “coluna” que você está localizado a sua escolha, e jogue como se tivesse acabado de chegar nesse espaço.**

→ Ocorreram recentes cortes em seus investimentos, e suas pesquisas andam meio emperradas. **Você não poderá pagar dicas extras na próxima rodada.**

→ Suas pesquisas estão ficando cada vez mais conhecidas no mundo acadêmico. Você foi chamado para dar uma palestra de abertura em um importante congresso. **Receba R\$ 600,00**

→ Seus recursos estão baixos. Você terá de ser criativo e perspicaz para avançar os seus trabalhos. **Na próxima vez que você for responder uma palavra chave, só poderá dar um palpite.**

→ Sua fama na comunidade científica continua crescendo. Agora você foi convidado à dar uma entrevista na TV em um programa sobre ciências. **Receba R\$500,00**

→ Você está preso em uma encruzilhada e teimoso (a) do jeito que é se recusa a trabalhar em quaisquer outras pesquisas enquanto não resolver esse problema. **Perca aproxima rodada.**

→ Não deixe para amanhã o que você pode fazer hoje. **Escolha uma categoria (à frente de onde você está) e tente montar um laboratório nele. Se conseguir, você andará (a partir do espaço na qual você o montou) o número de casas correspondente.**

→ Você é orgulhoso, e prefere trabalhar sozinho do que dividir os créditos. **Na próxima vez que você cair no laboratório de alguém (ou que alguém cair num seu), o dono do laboratório não poderá participar.**

→ Seus laboratórios recebem a cada dia mais investimentos, estando sempre bem equipados e em pleno funcionamento, e isso está os valorizando cada vez mais. **A próxima vez que alguém passar por um deles, caso vocês acertem o termo chave, vocês andarão o dobro dos espaços normais.**

→ Você está tendo problemas técnicos em seu observatório: o tempo tem estado muito fechado há semanas. Com isso sua pesquisa está atrasando. **Perca as duas próximas jogadas OU pague R\$700,00 para lançar um satélite e colocar um telescópio em órbita, resolvendo seu problema.**

→ Sua equipe está crescendo, você acaba de contratar jovens promissores para ajudar em seus projetos. **Na próxima vez que você tentar acertar uma palavra chave, ganhará uma dica extra e um palpite extra para as duas primeiras dicas.**

→ Você criticou duramente o trabalho de um colega, desacreditando-o devido sua autoridade sobre o assunto. Acontece que ele estava certo! Para se retratar você o convidou para avançar suas pesquisas em um de seus laboratórios. **O próximo jogador que passar por seus laboratórios terá direito à um palpite extra à cada dica que ele ouvir.**

→ Você foi chamado para uma entrevista em um famoso canal para divulgar suas pesquisas. Esta é uma grande oportunidade, mas ela pode ser tanto boa quanto má, dependendo do seu desempenho. **Pegue uma carta do laboratório J. Caso você acerte o termo, avance como se você estivesse nele.**

→ Grandes ideias estão surgindo, mas elas nem sempre concordam entre si. Todos foram convidados para um grande debate. **Uma palavra chave correspondente ao nível do laboratório mais alto que você tem agora será retirada e cada um dos jogadores terá direito à um palpite por dica (começando por você e girando no sentido horário), aquele que acertar andarà o dobro dos espaços correspondentes ao**

número da dica. As dicas ainda tem que ser compradas por quem quiser dar o palpite.

→ Você está perto de concluir um trabalho importantíssimo para sua carreira. Está a todo vapor para finalizar o que falta fazer. **Jogue duas ações consecutivas!**

D.4 Palavras chaves

D.4.1.Bloco 1

Asteróide
1 – Sou um corpo rochoso e metálico e possuo uma órbita bem definida.
2 – Considerando as escalas astronômicas, eu diria que sou um dos pequenos corpos celestes que vagam pelo cosmos, possuindo tipicamente algumas centenas de quilômetros de diâmetro.
3 – “Ceres” era considerado o maior dos meus, mas hoje ele é considerado um planeta anão.
4 – “Possuo” um cinturão no sistema Solar que, segundo alguns pesquisadores, deveria ser um planeta que não se formou.
5 – Acredita-se que o meu impacto com a Terra, há muito tempo atrás, teria ocasionado a extinção dos dinossauros.

Copérnico
1 – Sou um astrônomo e matemático da Prússia Real.
2 – Minha teoria foi proibida por certo tempo.
3 – Nasci no século XV, tendo sido precursor de Galileu, Kepler e Newton
4 – Meu modelo cosmológico não era, do ponto de vista experimental, superior ao do meu “rival”, mas ele é, sem dúvida, muito mais simples.
5 – Fiquei conhecido como aquele que desenvolveu a teoria heliocêntrica do Sistema Solar.

Cometa
1 – Sou um pequeno corpo celeste.
2 – Vivo pouco em comparação aos outros corpos celestes.
3 – Meu núcleo é composto essencialmente de gelo e poeira, podendo conter pequenos fragmentos.
4 – Posso possuir uma cauda, mas ela não fica “apontada” para trás como todos pensam.
5 – Meu tamanho varia de algumas centenas de metros até dezenas de quilômetros.

Ptolomeu
1 – Sou um antigo cientista grego e vivi em Alexandria, uma cidade do Egito.
2 – Criei um sistema de acordo com as tabelas de observações babilônicas que descreve os movimentos do céu.
3 – Minha obra mais conhecida é o “Almagesto” (“O grande tratado), que possui um grande modelo geométrico do Sistema Solar, baseado na cosmologia aristotélica.
4 - Costumo ser associado aos meus epiciclos.
5 – Sou precursor de Copérnico.

Meteoro
1 – Sou um fenômeno luminoso observado quando certo corpo celeste passa pela atmosfera terrestre.
2 – Antes de ocorrer, o corpo celeste que me gerou possuía um nome, e depois que eu ocorro, ele possui outro nome ou deixou de existir.
3 – Minha existência é curta, podendo durar apenas algumas frações de segundos.
4 – Sou popularmente chamado de estrela cadente.
5 – Costumo ser confundido (por causa do meu nome) com dois corpos celestes (que também não são facilmente distinguíveis entre si): um que nunca entrou na atmosfera terrestre e o outro que caiu na Terra.

Planeta
1 – A olho nu, é difícil me reconhecer à primeira vista.
2 – Sou um astro.
3 – Daqui da Terra, sem equipamentos, você só me reconhece se me observar por vários dias.
4 – Não emito luz própria, mas como a reflito, posso ser confundido com uma estrela.
5 – Até algum tempo atrás, existiam nove de mim no Sistema Solar, porém um foi “rebaixado”, entre outros fatores, por não possuir uma órbita própria.

Satélite natural (lua)
1 – Sou um corpo celeste, mas sem equipamentos você só consegue ver um dos meus.
2 – Não orbito estrelas, pelo menos não diretamente.
3 – Existem mais de 100 de mim no Sistema Solar, e continuam achando mais dos meus.
4 – Diferente do que a maioria pensa, não sou visível apenas à noite, e na verdade, sequer sou sempre visível.
5 – O homem já chegou a um dos meus, mas essa história ainda é bastante desacreditada.

Estrela
1 – Diferente do que muitos pensam, não sou uma bola de fogo, e sim um “gás” incandescente.
2 – Sou essencialmente composto de plasma (um gás eletrizado), o quarto estado da matéria, que embora seja o menos conhecido, é o mais abundante do universo.
3 – Analisando a luz que eu emito você pode descobrir muitos detalhes sobre mim, como o meu tempo de vida, a minha composição química, a velocidade com que eu me aproximo (ou me afasto de você), entre outras coisas.
4 – Tenho muitos tipos e a que está mais perto de você nesse momento não é, nem de longe, a maior ou a mais quente de todas as observadas até hoje.
5 – Devido a minha massa, exerço um campo gravitacional tão intenso que em torno de mim orbitam planetas e muitos outros corpos celestes menores.

Via Láctea
1 - Vista da Terra, apareço como uma faixa brilhante e difusa que circunda toda a esfera celeste
2 – Minhas irmãs estão muito afastadas de mim, e a que está mais próxima está em rota de colisão comigo.
3 - Com poucas exceções, todos os objetos visíveis a olho nu pertencem à mim.
4 - Constatou-se que a faixa brilhante de aspecto leitoso (a partir do qual meu nome derivou-se) se tratava na verdade de um grande conjunto de estrelas.
5 – O Sistema Solar faz parte de mim.

Sistema Solar
1 – Faço parte da Via Láctea
2 – Próximo do meu núcleo existem quatro planetas rochosos, e mais adiante existem outros quatro que são gasosos.
3 – Nesse momento, você se encontra dentro de mim.
4 – Sou uma estrutura imensa que contém planetas satélites, diversos outros corpos celestes e uma estrela.
5 – No meu centro se encontra uma estrela que corresponde a mais de 95% de minha massa. Todos os corpos que estão sob seu domínio gravitacional fazem parte de mim.

Mercúrio
1 - Sou visível da Terra mesmo a olho nu.
2 – Sou um planeta rochoso
3 – Apesar de eu atingir as maiores temperaturas entre os planetas do Sistema Solar, a média da minha temperatura não é a mais alta. Isso acontece porque não possuo atmosfera, sendo minhas noites bem frias.
4 – Sou o menor planeta do Sistema Solar.
5 – Sou o planeta mais próximo do Sol.

Vênus
1 – Sou um corpo celeste quase do mesmo tamanho que a Terra.
2 – Sou o terceiro corpo celeste mais brilhante visto da Terra.
3 – Apesar de não ser o planeta mais próximo do Sol, a média da minha temperatura é a mais alta de todos os planetas do Sistema Solar. Isso porque a minha atmosfera gera um efeito estufa muito intenso.
4 – Não “posso” luas.
5 – Sou o segundo planeta mais próximo do Sol.

Júpiter
1 – Possuo muitas luas.
2 – Muitos não sabem, mas eu também “protejo” a Terra. Devido o meu intenso campo gravitacional, atraio diversos corpos celestes para mim, e se não fosse por isso, muitos deles poderiam ter se chocado com a Terra.
3 – Este é um fato pouco conhecido, mas eu também possuo anéis.
4 – Sou o maior planeta do Sistema Solar.
5 – Sou o quinto planeta mais próximo do Sol.

Saturno
1 – Sou gasoso, com exceção do meu núcleo.
2 – Possuo uma peculiaridade que foi vista pela primeira vez por Galileu Galilei ao apontar uma luneta na minha direção.
3 – Sou “o senhor dos anéis” do Sistema Solar.
4 – Sou o segundo maior planeta do Sistema Solar.
5 – Meus anéis são compostos essencialmente por gelo.

Lua
1 - Sou um astro visível da terra mesmo sem telescópio.
2 – Quando minha primeira letra é minúscula, sou um substantivo comum. Já quando ela é maiúscula, sou um substantivo próprio.
3 – Sou o segundo corpo celeste mais brilhante visto da Terra.
4 – Pelo meu tamanho e proximidade, atuo como um escudo para a Terra, recebendo pancadas de corpos celestes no lugar dela.
5 – Não emito luz própria. O que parece ser “minha luz” na verdade é um reflexo da luz do Sol.

Titã
1 - Em Janeiro de 2005, foi lançada a sonda Huygens por entre minha neblina, que tirou as primeiras fotografias da minha superfície, mas devido ao nevoeiro, mesmo com fotografias, pouca coisa foi descoberta.
2 – Sou um corpo celeste do Sistema Solar. Sou maior e mais massivo que a Lua, e possuo mais volume que Mercúrio, porém possuo menos massa do que ele.
3 – Sou o maior satélite de Saturno e o segundo maior do Sistema Solar.
4 – Meu nome é referente à criaturas da mitologia grega que rivalizavam com os deuses.
5 – Sou um dos poucos que possui uma evidência clara de corpos líquidos em sua superfície.

Fobos
1 – Uma curiosidade acerca de mim é que eu orbito sobre um corpo celeste mais rapidamente do que ele rotaciona, o que faz com que eu “nasça” e me ponha três vezes ao dia.
2 – Sou, de todo o sistema solar, o satélite que orbita mais próximo do “planeta-mãe”.
3 – Meu nome vem da Grécia antiga e significa medo, provavelmente porque o planeta que orbito possui o mesmo nome do mitológico deus da guerra.
4 - Sou a maior, mais massiva e mais próxima das duas luas de Marte.
5 – Fui descoberto apenas seis dias após meu “irmão” Deimos.

Deimos
1 – Sou um corpo celeste relativamente pequeno, e fui descoberto em agosto de 1877, seis dias antes que meu “irmão”.
2 - Sou o menor satélite de todo o sistema solar.
3 – Meu nome significa pânico. O recebi por orbitar o planeta que possui o nome do mitológico deus

da guerra.
4 – Eu e meu “irmão” somos as luas mais próximas da Terra depois da Lua.
5 – Eu e Fobos somos as únicas luas de Marte.

Ano-luz
1 – Como todos do meu “tipo”, eu possuo múltiplos.
2 – Não costumo ser usado em pequenas escalas.
3 – Ao contrário do que muitos pensam, eu sou uma unidade de distância e não de tempo.
4 – A minha unidade vale 10 trilhões de quilômetros.
5 – Eu sou a distância que a luz “anda” no vácuo em um ano.

Telescópio
1 - Hans Lippershey, um fabricante de lentes dos Países Baixos, construiu em 1608 a minha primeira versão.
2 – funciono basicamente através da coleta da luz que incide em mim e da ampliação geométrica da imagem formada por ela.
3 - Os mais sofisticados do meu tipo captam radiação eletromagnética além da faixa do visível (para o olho humano).
4 – O meu nome vem do grego, e, numa tradução literal, significa “observar longe”
5 – Sou um instrumento que permite que você “estenda” sua visão, observando objetos que, devido sua distância, não seriam vistos normalmente.

Aristóteles
1 – Tenho uma “escola” associada ao meu nome.
2 – Adotei a teoria de um antecessor meu que diz que o mundo sublunar é composto de quatro elementos primordiais: A água, a terra, o fogo e o ar.
3 – Fui um famoso filósofo da Grécia antiga, tendo vivido entre os séculos IV e III A.C.
4 – Fui um dos primeiros a elaborar um modelo cosmológico, tendo ele perdurado por aproximadamente 400 anos até ser “substituído” por outro.
5 – Fui discípulo de Platão, outro grande pensador de minha época.

Luneta
1 - Ao me usar, constatarem pela primeira vez as crateras da Lua e os anéis de Saturno.
2 - Sou um instrumento óptico associado à astronomia, pois permito a visualização de objetos longínquos.
3 – Sou menos potente que os telescópios.
4 – Muitos atribuem a minha criação à Galileu Galilei, porém isso não é correto. Sou associado à ele pois ele foi o primeiro a ter a simples, porém brilhante ideia, de me apontar para o céu. As consequências de tal atitude revolucionaram a visão do homem sobre o cosmos.
5 – O meu uso permita a você enxergar corpos celestes que não são possíveis à olho nu.

Astronomia
1 – Apesar de haver um consenso sobre o meu surgimento ter ocorrido na Grécia Antiga, as observações aos meus objetos de estudo datam muito antes disso.
2 - Houve um tempo em que meu estudo era feito à olho nu.
3 – Alguns grandes estudiosos da minha área foram Galileu Galilei, Henrieta Leavit e Edwin Hubble.
4 – Sou uma Ciência e estudo os corpos celestes.
5 – Grande parte dos meus estudos ocorrem em observatórios.

D.4.2.Bloco 2

Teoria da Gravitação Universal de Newton
1 – O meu criador é mais conhecido por desenvolver outros estudos que são mais conhecidos que eu.
2 - Como todo modelo científico, eu possuo limitações, um domínio na qual sou aplicável, mas apesar de já existir outro mais geral que eu, dentro do meu domínio ainda sou utilizado.
3 – Apesar do meu nome, foi Einstein o primeiro a criar um modelo explicando porque eu “existo”.

4 – Estou fortemente associada a uma das quatro interações fundamentais da natureza.
5 – Recebo este título pois não sou empírica, mas sim um conjunto de conhecimentos organizados de forma lógica e que justificam os estudos ditos empíricos.

(Alexksandr) Friedmann
1 – Meu modelo cosmológico foi um dos primeiros que apontou para um universo em evolução e expansão.
2 – A maioria de meus colegas contemporâneos abominavam a ideia de um universo em movimento pois previam um iminente colapso. Para mim, tal dinamismo estava associado à um universo que poderia ter sido impulsionado por uma expansão inicial.
3 – Sou um matemático russo.
4 – Publiquei em 1922 um trabalho no jornal “Zeitschrift für Physik” que descrevia como modelos diferentes do universo poderiam ser criados com vários valores da constante cosmológica.
5 – Alguns anos depois de mim, o cosmólogo belga Georges Lemaître refez meus passos e se aprofundou nas considerações à respeito de um universo expansivo.

Teoria do Big Bang (2)
1 - O cosmólogo belga Georges-Henri Lemaître foi um dos primeiros a propor um modelo precursor ao meu, em 1927. Ele imaginou que toda a matéria estivesse concentrada em um ponto, que ele chamou de átomo primordial, e que este átomo havia decaído, emitindo matéria e energia, os quais iam se fragmentando e se aglutinando até chegarem à matéria que conhecemos hoje.
2 - De modo independentemente de Lemaître, o matemático russo Alexksandr Friedmann descobriu toda uma família de soluções para as equações da Teoria da Relatividade Geral. Em muitas dessas a ideia de um universo dinâmico também estava presente, de forma que ele também propôs modelos que “levam” à mim.
3 – Eu não tenho a finalidade de explicar o que iniciou a criação do Universo, o que existia antes de mim ou até o que existe fora do Universo e, sim, como ele se "transformou" no que hoje chamamos de Universo.
4 – Muitos associam minha criação à George Gamov, ao criar um modelo para um universo expansivo que explicava o surgimento dos elementos pesados da tabela periódica.
5 – Sou o modelo cosmológico atual.

(Georges) Lemaître
1 – Comecei a desenvolver meus modelos cosmológicos com base nas equações de Einstein para relatividade geral, mas ignorei na maior parte a constante cosmológica.
2 – Redescobri os modelos que descreviam um universo em expansão, sem saber que Friedmann tinha passado pelo mesmo raciocínio alguns anos antes de mim.
3 – Uma grande “descoberta” minha foi que a relatividade geral implicava um momento de “criação” do universo, uma origem.
4 – Em suma, eu fui o primeiro cientista a fornecer uma descrição detalhada e razoavelmente segura do que agora chamamos de modelo do Big Bang para o universo.
5 – Sou um cosmólogo belga que mantive em boa parte de minha vida duas carreiras paralelas, como físico e como padre.

Átomo primordial
1 – Estou ligado à Teoria do Big Bang em seu princípio, antes mesmo de ela ser conhecida por este nome.
2 – Embora eu não esteja correto, eu correspondo à algo muito próximo do que propões a Teoria do Big Bang.
3 – Fui proposto pelo físico belga Georges Lemaître.
4 – Estou ligado ao decaimento radioativo.
5 – Segundo aquele que me propôs, no princípio somente eu existia, e tudo o que há hoje provém de mim, ou seja, é um resquício meu.

(Albert) Einstein
1 – Sou um famoso Físico alemão.
2 – Propus uma Teoria sobre a dinâmica do Universo que “desbancou” a dominante da época de Isaac Newton.

3 – Acerca de minha Teoria cosmológica, “criei” o que mais tarde eu mesmo afirmei ser um dos meus maiores erros, a constante cosmológica. Ironicamente, estudos recentes apontam a possibilidade desta criação estar correta afinal de contas.
4 – Para mim, a gravidade existe pois os corpos curvam o espaço-tempo com suas presenças.
5 – Me enganei ao pensar que o universo era estático. Na verdade, foi esse pensamento que me fez acrescentar à minha teoria a constante cosmológica.

Deformação do espaço-tempo
1 – Sou uma proposição da Teoria da Relatividade Geral de Einstein.
2 – Entre outros fatores que me causam, a presença de um corpo é ao que se deve à minha existência.
3 – Um bom jeito de me explicar é mostrar como corpos massivos curvam uma superfície razoavelmente elástica como um lençol ou uma blusa, por exemplo
4 – Quanto maior eu for, maior é gravidade na região em meu entorno.
5 – Foi considerando a minha existência que Einstein propôs a constante cosmológica, pois algo precisava me contrabalançar, do contrário o universo colapsaria.

(Johannes) Kepler
1 - Fui um astrônomo e matemático alemão, considerado figura-chave da revolução científica do século XVII.
2 - Minha mais famosa obra, o livro “Astronomia Nova”, publicado em 1609, continha duas das três famosas leis que propus à respeito do Sistema Solar.
3 – Trabalhei como assistente de Tycho Brahe, tendo “herdado” suas valiosas e precisas observações astronômicas.
4 – Fui o primeiro a descrever corretamente as órbitas dos planetas ao redor do Sol, e a relacionar matematicamente os raios médio das órbitas dos planetas com seus respectivos períodos.
5 - As três leis que propus são modernamente conhecidas como “Lei das Órbitas”, “Lei das Áreas” e “Lei dos Períodos”.

Isaac Newton
1 – Fui um famoso físico e matemático inglês, conhecido por meus trabalhos em Mecânica, mas com diversas contribuições em Óptica e no Cálculo Diferencial e Integral, e muitas outras áreas.
2 - Também propus uma teoria sobre a gravitação.
3 - A mim é associada a famosa frase “Se pude ver mais longe, é porque me apoiei no ombro de gigantes”.
4 – No final do meu famoso livro, o “Princípios”, desenvolvi minha Teoria da Gravitação Universal, no qual faço uma análise matemática e conceitual da gravidade.
5 – Atualmente, sou mais conhecido por três leis da Mecânica que propus. Leis essas que levam o meu nome.

D.4.3. Bloco3

(Edwin Powell) Hubble
1 – Sou um famoso astrônomo estadunidense, e existe uma constante da Física que recebe o meu nome.
2 – Consolidei minha fama na comunidade acadêmica ao comprovar (experimentalmente) que as até então chamadas nebulosas eram na verdade galáxias fora da Via Láctea.
3 – Em 1990 a nasa, agência espacial norte americana, pôs em órbita um telescópio batizado com o meu nome.
4 – Propus uma Lei que relaciona a velocidade de afastamento das galáxias de nós com suas distâncias (até nós).
5 – Comprovei experimentalmente a expansão do universo.

Rede de difração
1 – Posso ser usada para analisar a estrutura química de uma estrela.
2 - Eu espalho a luz de acordo com a sua frequência (ou comprimento de onda).
3 – Posso ser usada para analisar a luz proveniente de um material incandescente (ou de uma amostra que está sendo queimada).

4 – posso ser usado para determinar a frequência (ou o comprimento de onda) das ondas eletromagnéticas.
5 – Sou uma das estruturas que compõem o espectrômetro.

(radiação) infravermelha
1 – Não sou visível ao olho humano, mas posso ser tornada visível se você tiver o instrumento adequado.
2 – Estou localizada na região de baixas frequências no espectro eletromagnético.
3 – Sou usada em certos equipamentos para proporcionar o que chamam de visão noturna.
4 – Não sou percebida (para os seres humanos) na forma de luz, mas posso ser percebida como calor.
5 – Estou localizada “abaixo” do vermelho em ordem de frequência (ou de energia).

(radiação) ultravioleta
1 – Faço parte do espectro eletromagnético.
2 – Sofro mais desvio no fenômeno da refração do que qualquer luz visível.
3 – Estou próximo das “fronteiras” do arco-íris.
4 – Sou emitida em grandes porções pelo Sol, e como sou muito espalhada pela atmosfera, você me “recebe” com mais intensidade nos horários próximos ao meio dia.
5 – Estou localizada “acima” do violeta em ordem de frequência (ou de energia).

(Henrietta Swan) Leavitt
1 – Sou uma astrônoma norte americana famosa por meu trabalho sobre certo tipo de estrelas.
2 – Trabalhei como voluntária no Harvard College Observatory, onde descobri (medi e cataloguei) mais de 2400 estrelas variáveis, metade do total conhecido em minha época.
3 – Determinei a relação matemática entre o período de variação e o brilho de certo tipo de estrelas.
4 – O objeto de estudo de meu mais famoso trabalho são as estrelas do tipo cefeida.
5 – Os resultados do meu trabalho foram usados por Edwin Hubble para determinar a distância da chamada “nebulosa” Andrômeda e, graças a isso, pôde-se concluir que ela era uma galáxia.

Cefeidas
1 – Sou um tipo de estrela variável que possui um período bem definido.
2 – Os estudos sobre mim permitiram que eu servisse como uma espécie de régua cósmica, determinando as distâncias de corpos celestes que estivessem próximos à mim.
3 – Ganhei importância com a pesquisa feita pela cientista Henrietta Leavitt, que estudou algumas estrelas do meu tipo localizadas na Pequena Nuvem de Magalhães.
4 – Existe uma relação matemática entre a intensidade do meu brilho e o período de oscilação dele.
5 – Quando Edwin Hubble achou uma estrela do meu tipo na nebulosa Andrômeda, conseguiu determinar sua distância, chegando a conclusão de que ela se tratava de uma galáxia.

Efeito Doppler
1 – Possuo quatro tipos, ou quatro manifestações. Os menos conhecidos são o cosmológico e o gravitacional, mas também sou aplicado para a luz e para o som.
2 – É através de mim que comprovam a expansão do universo.
3 – Se analisar a luz de uma estrela e me conhecer, você pode determinar se ela está se aproximando ou se afastando de você.
4 – Caso uma ambulância já tenha passado por você, ou você tenha assistido uma corrida de fórmula 1, já deve ter me percebido, mesmo sem me conhecer.
5 – Sou caracterizado pela mudança aparente na frequência de uma onda devido o movimento relativo entre a fonte da onda e o receptor.

Cor (do feixe de luz)
1 – Sou um estímulo visual relacionado com uma grandeza física.
2 – Dependendo de que tipo sou, posso possuir mais ou menos energia. Isso está relacionado à mesma grandeza física que me caracteriza.
3 – Ao aquecer um corpo incandescente, eu mudo gradualmente conforme aumenta sua temperatura.
4 – Posso mudar se aquele que me emite e aquele que me capta se aproximem ou se afastem um do outro, mas a velocidade deles tem que ser incrivelmente alta para haver uma mudança significativa.
5 – Possuo sete tipos primários.

Luz
1 – Eu sofro um efeito denominado Doppler e, graças a isso, foi determinado que o universo está em expansão.
2 – Sou uma onda eletromagnética.
3 – Num sentido mais lúdico, sou completamente visível. Já para os cientistas, minha interpretação é mais ampla, de forma que apenas parte de mim é vista pelo olho humano.
4 – Sou uma radiação eletromagnética.
5 – Posso ser absorvida, refletida, refratada, difratada, polarizada e posso sofrer interferência.

Desvio para o vermelho (<i>redshift</i>)
1 – A minha observação comprovou que o universo estava em expansão.
2 – O meu “oposto” indica que algo está se aproximando de você.
3 – A minha existência se deve à um fenômeno conhecido como efeito doppler.
4 – Quanto maior a velocidade de afastamento de uma fonte luminosa, mais você me notará.
5 – O meu nome se refere ao fato de as linhas de absorção, no espectro de uma estrela, se deslocarem para o sentido de menor frequência quando esta estrela está se afastando do observador.

Desvio para o azul (<i>blueshift</i>)
1 – Você me nota analisando algumas estrelas “próximas” à você porque o movimento local delas é mais perceptível que o da expansão do universo.
2 – O meu “oposto” indica que algo está se afastando de você.
3 – A minha existência se deve à um fenômeno conhecido como efeito doppler.
4 – Quanto maior a velocidade de aproximação de uma fonte luminosa, mais você me notará.
5 – Sou uma expressão que vem do termo em inglês “blueshift”.

Espectroscopia
1 – Sou um processo cujo fundamento é a interação de uma radiação eletromagnética e a matéria constituinte de uma amostra.
2 – Se você me utilizar, pode descobrir a composição química de certos corpos, em alguns casos sequer tendo acesso à eles.
3 – Sempre que energizamos uma substância, esta pode emitir ou absorver radiação em certa faixa de frequência, permitindo, através da análise dessa radiação, que tiremos conclusões sobre a substância. Esta é a base do processo que leva o meu nome.
4 – O equipamento utilizado por aqueles que me estudam recebe o nome de espectrômetro ou espectroscópio.
5 – Sou uma área de estudo ligada ao espectro eletromagnético emitido por corpos incandescentes.

A Teoria do Big Bang
1 - Em certo sentido, minha comprovação experimental começou quando Hubble, ao calcular a distância entre a Terra e várias galáxias longínquas, constatou que o universo estava em expansão.
2 - A existência da radiação cósmica de fundo é uma forte evidência a meu favor.
3 - A minha ideia “veio” de um trabalho de Einstein, mas foram Friedmann e Lemaitre que, de forma independente, propuseram modelos que culminariam em mim.
4 - Aqueles que me defendiam propuseram que, como o universo se expandia, antes ele deveria ser menor. Seguindo esse raciocínio diziam que no início toda a matéria estava concentrado em um único ponto.
5 - Sou o modelo cosmológico atual, e o nome pelo qual sou mais conhecido se refere à uma explosão.

Lei de Hubble
1 – A minha existência acabou sendo uma forte evidência à favor da Teoria do big bang.
2 – Para me compreender você precisa ter uma boa noção de espectroscopia e do efeito doppler.
3 – Para chegar até mim, meu “criador” analisou a luz de galáxias e percebeu que, quanto mais distantes elas estão de nós maior é o “desvio para o vermelho” de sua luz.
4 – A “constante” física presente em mim, ironicamente, não é constante.
5 – Sou uma lei científica, e se você já me estudou, sabe que o universo não é estático.

Expansão do universo
1 – Você não me observa diretamente, mas percebe minha existência ao analisar a luz das galáxias que estão mais longe de você.
2 – Ocorro de forma acelerada, embora ainda não se saiba ao certo por que.
3 – Se você tentar me verificar analisando estrelas “próximas”, você não conseguirá devido o movimento local dessas estrelas.
4 – Uma boa forma de me compreender é encher uma bexiga que esteja cheia de moedas coladas nela. Enquanto você assopra, as moedas estão se afastando umas das outras porque está sendo criado mais espaço entre elas, e não porque elas estão se movendo.
5 – Fui comprovada experimentalmente pelo trabalho conhecido hoje como Lei de Hubble.

D.4.4. Bloco 4

Galileu Galilei
1 – Sou um famoso cientista italiano.
2 – Embora estes termos não costumem ser ligados à mim, fui eu quem comecei a estudar a inércia e a relatividade do movimento.
3 – Ao contrário do que muitos pensam, eu não inventei a luneta (embora tenha aperfeiçoado algumas), mas fui o primeiro a apontá-la para o céu.
4 – “Descobri” as crateras da Lua e os anéis de Saturno.
5 – Também fui o primeiro a chegar à conclusão de que os corpos (em queda livre) caem todos com a mesma aceleração.

Constante cosmológica
1 – Fui proposta por Einstein.
2 – Minha criação se deve, à primeira instância, a “preferência” de um universo estático.
3 – O primeiro da comunidade científica a me questionar foi o matemático russo Alexksanr Friedman
4 – À princípio, sob um ponto de vista bem simplificado, eu não passo de uma improvisação.
5 – Estudos recentes sugerem que, afinal de contas, eu posso existir.

Buraco negro
1 – O meu centro costuma ser chamado de singularidade, e minha “fronteira” de horizonte de eventos.
2 – O meu “nascimento” provém da “morte” de certo tipo de estrelas.
3 - Mesmo atualmente, não há muitas informações concretas sobre mim.
4 – Sou muito tratado em filmes de ficção científica.
5 - Meu nome se deve ao fato de que nem mesmo a luz escapa do meu campo gravitacional.

Comprimento de onda (λ)
1 – Carrego quase toda informação que você precisa saber acerca de uma onda.
2 – Se a fonte da “minha onda” se aproximar de alguém que a perceba, eu parecerei menor do que sou.
3 – Quanto maior é o meu valor, menos “minha onda” é desviada ao mudar de meio de propagação.
4 – Sou relativamente fácil de se medir no caso das ondas mecânicas, mas só sou medido por métodos indiretos nas ondas eletromagnéticas.
5 - Se você conhece a velocidade de uma onda e a sua frequência (ou o seu período), você pode me determinar.

Período (de uma onda)
1 – Sou uma grandeza física associada às ondas.
2 – Se você se aproximar de uma fonte de ondas, parecerei menor do que realmente sou.
3 – Sou uma medida de tempo.
4 - Se você conhece a frequência da minha onda, pode me determinar.
5 – Sou o nome dado ao tempo que uma onda leva para completar um ciclo de oscilação.

Energia escura
1 – Sou um objeto de estudo hipotético e estou distribuída por todo o espaço.
2 – Supostamente sou a responsável pela expansão acelerada do universo.
3 – A minha principal característica é ter uma forte pressão negativa, o que gera o efeito de uma força

oposta à gravidade.
4 – Existem muitos modelos sobre mim, mas os dados observacionais ainda estão longe de selecionar um em detrimento dos demais.
5 – Sou uma forma de energia.

N.A.S.A.
1 – Fui fundada em 29 de julho de 1958.
2 – Meu lema é “For the Benefit of All”, que em português significa “Para o Benefício de Todos”
3 – Já enviei satélites e sondas para diversos planetas e asteróides do Sistema Solar, robôs para Marte, e até mesmo pessoas para a Lua.
4 – Minha sigla significa “National Aeronautics and Space Administration”
5 – Sou uma agência espacial norte americana responsável por pesquisa e desenvolvimento de tecnologias associados à exploração espacial.

Radiação cósmica de fundo
1 - Por deixar de interagir com a matéria do universo em um tempo relativamente pouco posterior ao princípio da expansão, carregando importantes informações sobre a origem do universo.
2 – Embora já tivesse sido proposta pela primeira vez em 1948, minha comprovação experimental, em 1965, foi acidental, produto de pesquisas feitas no Bell Telephone Laboratories com o objetivo de melhorar a comunicação via satélite.
3 – Antes de saberem que se tratava de mim, fui classificada como um ruído em certa frequência que não conseguia ser “eliminado”.
4 – Sou uma radiação que possui o espectro de um corpo negro à aproximadamente 5 K, e permeio todo o universo.
5 – Você pode me detectar com um radiômetro Dicke na faixa de frequência do micro-ondas.

Radiômetro (Dicke)
1 – Fui inventado em 1944, e meu nome é uma referência à meu inventor, Robert H. Dicke.
2 – Me utilizando, Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson, do Bell Telephone Laboratories, em 1965, detectaram uma das principais evidências experimentais da Teoria do Big Bang.
3 - Em 1965 estava sendo usado na Bell Telephone Laboratories com o objetivo de realizar pesquisas em radioastronomia e em comunicação via satélite.
4 – Se me ajustar na faixa de frequência do micro-ondas, você pode detectar a radiação cósmica de fundo.
5 – Sou um instrumento que detecta radiação.

Ondas eletromagnéticas
1 - A característica que mais me distingue é o fato de eu me propagar no vácuo.
2 – Em certo sentido, após ser criada, em me “auto alimento”.
3 – Posso uma faixa bem ampla, sendo que nem toda ela é visível para o homem.
4 – posso ser absorvida, refletida ou refratada, dependendo da minha frequência e sobre quem eu incido.
5 - Alguns dos meus exemplos são: a luz, os raios infravermelhos e ultravioletas, as micro-ondas e os raios x.

Radiação
1 – Sou uma propagação de energia.
2 – Me propago no vácuo.
3 – Minha emissão pode ser espontânea, partindo do núcleo de certos átomos, ou ela pode ocorrer pela existência de certos estímulos eternos.
4 – Embora meu nome quase sempre gere um efeito negativo nas conversas em geral, muitas de minhas aplicações são benéficas, como na medicina, na agricultura e na produção de energia.
5 – Meu nome é frequentemente ligado a armas e acidentes nucleares.

Constante de Hubble
1 – Sou um parâmetro físico, e minha unidade de medida é o km/s/Mpc (quilômetro/segundo/Megaparsec)
2 – Apesar do meu nome, eu não sou constante.

3 – Carrego o nome de um dos primeiros a constatar que o universo está em expansão.
4 – Estou presente na Lei de Hubble.
5 - Se você comparar a velocidade do afastamento das estrelas que estão “mais longe” de você com a distância até elas, chegará perto do meu valor.

Frequência (de uma onda)
1 - Sou um número que representa uma repetição, e “contenho” praticamente toda informação que você precisa saber daquele que me gera.
2 – Sou diretamente proporcional à energia de uma onda.
3 – Sou percebida como a altura (grave ou agudo) para o som e como a cor para a luz.
4 – Sou, basicamente, um número de ciclos por unidade de tempo.
5 – A minha unidade de medida, no S.I., é uma homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz.

Espectrômetro (ou espectroscópio)
1 – Posso caracterizar uma série de materiais quanto à sua absorção luminosa, fluorescência, transmissão, entre outros.
2 – Minha estrutura se resume basicamente à existência de uma rede de difração e um captador.
3 – Sou um instrumento óptico utilizado para medir as propriedades da luz em uma determinada faixa do espectro eletromagnético.
4 – Faço basicamente uma leitura da intensidade luminosa de cada comprimento de onda que existe na composição de um feixe luminoso que incide sobre mim.
5 – Meu nome está associado à espectroscopia.

Decomposição da Luz
1 - Em certo sentido, pode-se dizer que eu fui o precursor da espectroscopia.
2 – Um dos primeiros cientistas a formular um modelo sobre mim descobriu que a luz branca era a composição das cores do arco-íris
3 – Hoje em dia sou utilizada para estudar a composição química das estrelas. Podemos dizer que eu forneço uma “impressão digital” dela através do estudo de sua luz.
4 – Hoje em dia, “ocorro” através de uma rede de difração, mas no início, era um prisma que era utilizado.
5 – Ocorro também no belíssimo fenômeno denominado arco-íris.

Espectro eletromagnético
1 – Não sou inteiramente visível.
2 – Contenho as cores do arco-íris.
3 – Posso estar em ordem crescente ou decrescente de frequência e de comprimento de onda.
4 – Muitas das minhas faixas invisíveis são bem conhecidas mesmo para os que não estudam Física.
5 – Existem certos dispositivos que tornam visíveis algumas de minhas faixas não visíveis.

Órbita
1 – Sou estudada há mais de dois mil anos e, dependendo do referencial que me descreve, posso ser bem complicada.
2 – Posso ser um círculo, uma elipse ou mesmo uma parábola.
3 – Para os planetas sou quase circular, mas Kepler viu que na verdade sou elíptica.
4 – Essencialmente sou um caminho.
5 – Foi me estudando que os antigos diferiram os planetas das estrelas.

Acelerador de partículas
1 – Sou muito utilizado na busca por novas partículas subatômicas.
2 – Sou um equipamento que apresenta percursos com alto vácuo.
3 – O maior dos meus modelos se encontra na Suíça. Mas ele é tão grande que acaba ocupando também parte da França.
4 – Quando estou em funcionamento, as partículas em meu interior atingem velocidades muito próximas à da luz.
5 – Dentro de mim ocorrem colisões. Essas colisões são usadas para se obter diversos tipos de informações como, por exemplo, a composição química de objetos sólidos.

Galáxia
1 - Antigamente não sabiam se eu fazia parte da via láctea ou se estava fora dela.
2 - Pode-se dizer que o meu giro comprova à existência da matéria escura.
3 - A minha massa não gera uma força gravitacional suficiente para manter o meu giro.
4 - Sou um aglomerado de estrelas.
5 - A mais próxima de você nesse momento é Andrômeda

Matéria escura
1 - Há duas possibilidades sobre a minha natureza: posso ser formada por matéria conhecida, formando objetos compactos que emitem pouca ou nenhuma radiação; ou posso ser composto por matéria não conhecida, constituída por partículas elementares neutras que ainda não foram descobertas e que não interagem com a luz. (SBF, 2005)
2 - Componho cerca de 90 % da matéria do universo.
3 - Recebo esse nome por não emitir radiações eletromagnéticas que possam ser detectadas.
4 - Minha existência foi percebida pela primeira vez por Fritz Zwicky, um astrônomo suíço que percebeu que em várias galáxias estudadas por ele deveria haver de dez a cem vezes mais massa que a da matéria associada às estrelas ali existentes.
5 - Existem tentativas de solucionar o meu mistério propondo-se alterações na gravitação. No entanto, até o momento, nenhuma delas obteve grande sucesso.

LHC (Large Hadron Collider)
1 - Tenho como objetivo, entre outras coisas, entender como o universo era no seu princípio.
2 - Meu nome é uma sigla, e se refere às colisões que ocorrem no meu interior.
3 - Represento o maior investimento de todos os tempos feito na área da Física.
4 - Fui o responsável pela identificação (com 99,9% de precisão) da partícula responsável pela massa de todas as partículas elementares.
5 - Sou tão grande que ocupo parte da extensão de dois países (França e Suíça).

Plasma
1 - Sou um gás ionizado.
2 - Sou a matéria constituinte das estrelas.
3 - Sou utilizado por certas tecnologias envolvendo monitores como a TV e o computador.
4 - Sou o quarto estado fundamental da matéria, e apesar de ser o menos conhecido, sou o mais abundante em todo o universo.
5 - Não é só através do aquecimento que você me obtém. Você pode fazê-lo eletrizando um gás.

Interação gravitacional (ou gravidade)
1 - O primeiro a criar uma Teoria acerca de mim não foi o primeiro à justificar a minha existência.
2 - Ao contrário do que muitos pensam, na época da criação da Teoria que me descreve, a matemática referente à ela já era bem conhecida, porém um detalhe crucial estava faltando.
3 - Embora a maioria pense que eu atue à distância, existe uma teoria que fala sobre uma partícula subatômica associada à minha propagação.
4 - Newton foi o primeiro à desenvolver uma Teoria que me explicasse, mas foi Einstein quem criou um modelo que explicasse porque eu existia.
5 - Sou uma das quatro interações fundamentais e, até o momento, não existe nenhum modelo que me unifique com qualquer um dos meus “irmãos”.