



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Centro de Ciências da Matemática da Natureza

Instituto de Física

Projeto de final de curso
Instrumentação para o ensino
(FIWK 01)

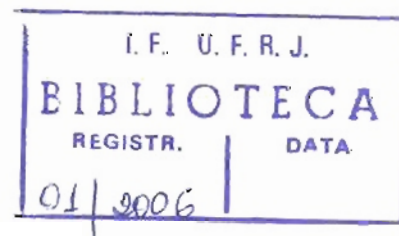
**A atualização conceitual de Mecânica da Partícula, através de
noções elementares de Gravitação.**

Marcos Paulo da Cunha Martinho
Orientadora: Susana de Souza Barros

Monografia apresentada ao Instituto de Física
da Universidade Federal do Rio de Janeiro
para a obtenção do grau de licenciado em Física.

Rio de Janeiro
março 2006

01/2006



ÍNDICE

I	INTRODUÇÃO	1
II	PROPOSTA PARA INTRODUÇÃO DA TEORIA DA GRAVITAÇÃO NO ENSINO MÉDIO	4
III	METODOLOGIA E INSTRUMENTOS	7
IV	INSTRUMENTOS, GABARITOS E COMENTÁRIOS	14
V	DADOS	22
	ANEXO 1	30
	ANEXO 2	33
	ANEXO 3	35
	ANEXO 4	36
	ANEXO 5	38
	ANEXO 6	51
	ANEXO 7	53
	BIBLIOGRAFIA	69

RESUMO

A proposta deste trabalho foi utilizar um tópico da física (Teoria da Gravitação), que frequentemente é omitido no Ensino Médio das Escolas Públicas, por conta da falta de tempo alocado na grade curricular, para verificar qual a sua contribuição no fortalecimento dos conceitos de Mecânica da Partícula já discutidos com os alunos em aulas anteriores?

A estratégia consiste em preparar aulas sobre Gravitação que permitam ao aluno revisar os conceitos de Mecânica, relacionando os antigos conceitos com os novos apresentados e discutidos nas aulas.

A avaliação é feita através de Pré e Pós-teste, constituídos de questões básicas de Mecânica, e de uma avaliação sobre o novo conteúdo (avaliação Pós-instrução). Os resultados destes instrumentos são discutidos e mostrados através de TABELAS E GRÁFICOS.

I-INTRODUÇÃO

O estudo da Teoria da Gravitação (doravante será utilizado TG) no Ensino Médio desempenha um papel fundamental no campo da Física e no desenvolvimento da História da Ciência, pois é a base para a compreensão das modernas concepções do Universo, evitando a apresentação simples de seus postulados. Segundo Alvarenga e Máximo (2000),

...A TG deve ser introduzida de maneira gradual, embora sem muitos detalhes, procurando evitar que os alunos pensem que Newton estabeleceu aquela lei (LGI) como fruto de uma inspiração repentina, ao observar a queda de uma maçã.

Apesar da importância do ensino da TG, esse assunto é muito frequentemente suprimido do conteúdo programático do Ensino Médio nas escolas da rede pública estadual. O curso de Mecânica proposto para esse segmento é extenso para se desenvolver no tempo alocado para o ano letivo. Logo, os professores acabam selecionando alguns assuntos que julgam mais importantes e a Gravitação acaba sendo omitida, levando a situação comentada por Alvarenga e Máximo (2000):

..., essa omissão ou sua apresentação de forma muito sucinta, constitui uma verdadeira lacuna na formação do estudante e na visão que ele vai adquirir das idéias e princípios da Física Clássica.

A Secretária de Estado e Educação do Rio de Janeiro recentemente apresentou uma Proposta de Reorientação Curricular do RJ (PRCERJ, 2005) que prevê mudanças no programa de várias disciplinas. Na Física alguns tópicos tornaram-se optativos, dentre eles a Teoria da Gravitação. A proposta está fundamentada nos PCN's, no entanto os autores dizem:

A presente proposta não segue as orientações sugeridas nos Parâmetros Curriculares Nacionais no que diz respeito à organização dos conteúdos em temas estruturadores. Entre as razões para isso estão a carência de livros-texto e material instrucional adequado, e a falta de programa de aperfeiçoamento que tornem mais simples a adaptação do corpo docente a uma reformulação que atinge não apenas os conteúdos, mas também os enfoques e formas de apresentação. (Aguilar, et al. 2005)

A proposta da Secretária de Educação vai de encontro aos PCN's e a este trabalho, ao deixar como tema optativo a Teoria da Gravitação. A apresentação dessa teoria no Ensino Médio faz parte do redimensionamento proposto pelos PCN's na Física escolar, a fim de se obter,

...um conhecimento contextualizado e integrado a vida de cada jovem. (PCN, 1999)

Além do mais, apresentar e discutir a TG permite que o estudante revise e reforce os conceitos de Mecânica já apresentados em aulas anteriores. Estudando a Mecânica do Sistema Solar, por exemplo, pode-se rever: a cinemática do ponto, as leis de Newton e a dinâmica do movimento circular.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's, 1999) sugerem uma reformulação no ensino da Física, levando o aluno a compreender melhor o mundo em que vive, tornando-o mais crítico e comprometido com o destino da sociedade. Assim o redimensionamento dos conteúdos do ensino médio é um passo importante, não apenas para a Física, mas para todas as disciplinas. De modo geral, a Física deve ser ensinada utilizando o imediato do aluno, ou seja, levando-o a explicar o cotidiano observável, como: o porquê do movimento aparente do Sol, da Lua e das Estrelas, as fases da Lua, os eclipses, as marés ou o estado de imponderabilidade, utilizado nos filmes de ficção científica.

Para isso é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos que efetivamente lidam, ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade. Esse deve ser o ponto de partida, e de certa forma, também o de chegada. Ou seja, feitas as investigações, abstrações e generalizações potencializadas pelo saber da Física, em sua dimensão conceitual, o conhecimento volta-se novamente para os fenômenos significativos ou objetos tecnológicos de interesse, agora com um novo olhar, como o exercício de utilização do novo saber adquirido, em sua dimensão aplicada ou tecnológica. O saber assim adquirido reveste-se de uma universalidade maior que âmbito dos problemas tratados, de tal forma que passa a ser instrumento para outras diversas investigações (PCN, 1999).

A apresentação de temas de Física contemporânea e sua compreensão pelos alunos (Física Moderna, Big Bang etc...) depende do desenvolvimento de assuntos discutidos ao longo do Ensino Médio. O conteúdo desses temas aplica os conceitos já vistos em sala de aula e a disponibilidade destes, já aprendidos pelos estudantes permite a compreensão de novos temas, como colocado nos PCN's,

A possibilidade de um efetivo aprendizado de Cosmologia depende da Teoria da Gravitação, assim como de noções sobre a constituição elementar da matéria e energética Estelar. (PCN 1999)

Neste trabalho é apresentado um plano de aula sobre a Teoria da Gravitação, cujos objetivos são:

- a) propiciar a inclusão da TG no planejamento escolar.
- b) testar a hipótese que através dessa teoria pode-se revisar e reforçar conteúdos de Mecânica da Partícula, já ensinados em aulas anteriores.
- c) criar possibilidades para a compreensão das modernas Teorias Cosmológicas.
- d) motivar os alunos a aprenderem de forma autônoma novos temas de Física contemporânea e de Ciência.

O aprendizado da TG não é apenas um tópico a mais de Física a ser discutido, dentro da nova proposta a teoria ocupa um papel de grande importância na Física do Ensino Médio. Permitindo a percepção da ciência como construção humana trata da compreensão do nosso Universo, tornando-se fundamental para o entendimento da Teoria da Relatividade Geral e das Origens do Universo.

...o aprendizado da física promove a articulação de toda uma visão de mundo, de uma compreensão dinâmica do Universo, mais ampla do que nosso entorno material imediato, capaz portanto de transcender nossos limites temporais e espaciais (PCN, 1999).

II -PROPOSTA PARA A INTRODUÇÃO DA TEORIA DA GRAVITAÇÃO NO ENSINO MÉDIO.

O desenvolvimento de temas modernos em Ciência é sugerido nos PCN's como um desdobramento de outros conhecimentos ao longo do Ensino Médio, por exemplo: no final do estudo do Eletromagnetismo podem-se discutir elementos de eletrônica das telecomunicações e da informação, abrindo espaço para a compreensão do rádio, da televisão e dos computadores. A aprendizagem da TG possibilita a compreensão das modernas visões cosmológicas (das origens do Universo) fornecendo conceitos para futuros estudos nesse campo. Seria impossível entender as novas teorias sobre o Universo sem compreender a Lei da Gravitação Universal (LGU).

A Teoria da Gravitação (TG), através de seus fundamentos, leva os estudantes a compreenderem a Mecânica do Sistema Solar. Para uma aprendizagem desta teoria é necessário o conhecimento elementar de Mecânica da partícula, que favorecerá a assimilação dos novos conceitos apresentados. O conhecimento deste tópico conduz o aluno saber que: as órbitas planetárias são elípticas e que seus movimentos não são uniformes ao longo de sua translação; identificar o periélio e afélio e entender que as estações do ano ocorrem devido ao eixo de inclinação da Terra que não é perpendicular ao plano Terra-Sol e não por sua distância ao Sol; que as massas se atraem mutuamente através de uma força que diminui com o inverso do quadrado da distância. Esta última é de grande importância para a Física, por que várias outras grandezas se comportam da mesma forma (campo elétrico).

Numa perspectiva de alfabetização científica o conhecimento da TG estimula os estudantes acompanharem notícias científicas relacionadas ao tema Universo, orientando-os para a identificação sobre os assuntos tratados e promovendo meios para a interpretação de seus significados. Nos dias de hoje, há uma grande quantidade de informações divulgadas pelos meios de comunicação (viagens espaciais, descobertas telescópicas etc.), compreendê-las depende de um aprendizado básico no campo das ciências, assim é necessário que o ensino de Física desenvolva nos estudantes habilidades para acompanhar essas informações.

Lidar com o arsenal de informações atualmente disponíveis depende de habilidades para obter, sistematizar, produzir e mesmo difundir informações, aprendendo a acompanhar o ritmo de transformação do mundo em que vivemos (PCN, 1999).

A compreensão da TG abre também outra perspectiva, a percepção da física como construção histórica. A evolução dos modelos e das concepções do Universo são objetos de discussão desde a Antiguidade, e muito contribuíram para o desenvolvimento da ciência, em especial da Física. Os PCN's defendem a importância da discussão da História da Ciência no Ensino Médio, como objetivo epistemológico importante:

A Física percebida como construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que os modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos, como o modelo Geocêntrico substituído pelo Heliocêntrico, a teoria do calórico pelo o conceito de calor como o de energia, ou luz. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram (PCN, 1999).

A TG é geralmente omitida ou apresentada de forma sucinta na maioria dos currículos do Ensino Médio. Os autores dos livros didáticos de Física sugerem, nos planos de aula contidos no Suplemento do professor, que alguns tópicos podem ser omitidos no caso de uma carga horária semanal pequena, dentre eles a TG. Como exemplo, *Gaulter e André, 2001*, elaboraram seis propostas de planejamento de curso de acordo com a carga horária semanal da disciplina na escola. Duas propostas destinam-se às escolas que possuem carga horária reduzida e nessas alguns tópicos são suprimidos do programa, dentre eles a Gravitação. A justificativa dos autores é transcrita abaixo.

O critério usado na escolha destes capítulos foi priorizar os assuntos que tem maior incidência nas provas de física dos vestibulares mais importantes do Brasil (conforme indicam análises estatísticas). (Gaulter, André, 2001)

Como mencionado anteriormente, o PRCERJ (2005) também coloca a TG como tópico opcional em sua proposta, deixando-a em segundo plano. A consequência disso é que os alunos da rede estadual, se já não eram apresentados a este conteúdo, agora estarão ainda mais distantes desse tópico.

O presente trabalho propõe a apresentação da TG no Ensino Médio, justificando-se através das propostas para o ensino de Física dos autores de livros didáticos:

O estudo da Gravitação Universal leva o estudante a entrar em contato com uma lei de grande importância, pelo papel fundamental que ela desempenha no campo da Física. O estabelecimento das idéias de Gravitação Universal é considerado um dos fatos mais importantes no desenvolvimento das ciências e da Física em particular. Assim acreditamos que a omissão deste capítulo, ou a sua apresentação de forma sucinta constitui uma verdadeira lacuna na formação do estudante e na visão que ele vai adquirir das idéias e princípios fundamentais da Física Clássica (Máximo e Alvarenga, 2000).

...é um capítulo de fundamental importância, uma das raras oportunidades que o aluno tem de discutir e pensar no planeta e no universo em que vive de uma forma sistemática e menos fantasiosa (Gaspar, 2000).

III – METODOLOGIA E INSTRUMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido numa terceira série do Ensino Médio do Centro Interescolar Estadual Miécimo da Silva, situado no bairro de Campo Grande, município do RJ. A turma tinha 40 alunos que já estudaram Mecânica da Partícula na primeira série. Somente foram considerados os alunos que participaram do pré e pós-teste, totalizando 21 alunos.

Etapas do trabalho:

1. Na primeira aula é apresentada uma **reportagem científica** (Anexo 1) que discute elementos de Mecânica Celeste que serão discutidos nas aulas posteriores. Esse instrumento é utilizado como estratégia para motivar os alunos a se interessarem pela Teoria da Gravitação. No decorrer da leitura é solicitado aos alunos que anotem o que não entenderam, para que o professor, ao término dessa atividade, esclareça o que não foi compreendido.

A seguir é aplicado aos alunos um **Pré-teste** (Anexo 2) de cinco questões para diagnosticar se os conceitos de Mecânica foram aprendidos. A estratégia de aplicação tem dois momentos: no primeiro, os alunos respondem as questões do pré-teste à caneta durante 50 minutos e no segundo momento o professor faz uma breve revisão dos conceitos de Mecânica contidos na avaliação permitindo, ao seu término, que os alunos revejam o que responderam, corrigindo a lápis, sem apagar, o que já havia sido respondido. Deseja-se com esta estratégia saber qual a influência da intervenção na reflexão dos alunos.

2. Na segunda aula é apresentada e discutida a **Evolução dos modelos cosmológicos**, desde os Gregos até Newton, enfatizando a história da ciência. São apresentados os modelos Geocêntricos, mostrando os principais problemas do modelo e a necessidade de substituição por outro mais simples: o Sistema Heliocêntrico. Destacam-se ainda como assuntos da aula: as leis de Kepler e a emergência de uma nova teoria explicativa do Universo. No decorrer dessa aula, são inseridos recursos didáticos (ver Quadro 2), para facilitar a aprendizagem dos fenômenos celestes explicados.

3. Na terceira aula é apresentada a **Teoria da Gravitação**, onde tópicos (Quadro 2) e conseqüências de seus pressupostos são discutidos. Para o favorecimento da aprendizagem são utilizados recursos didáticos: transparências, modelos de isopor e exercícios de fixação.

4. Na quarta aula os alunos respondem o **Pós-teste** e um teste de **Pós-instrução** (Anexo 2 e 3, respectivamente) cujos objetivos, respectivamente, são verificar se as aulas contribuíram para sedimentar os conceitos de Mecânica anteriormente aprendida e avaliar o que aprenderam nas aulas sobre Gravitação.

Não foi utilizado material didático (como livros e apostilas) para acompanhamento das aulas, os alunos tomaram nota do que foi apresentado e observando os recursos (modelos físicos) utilizados pelo professor na discussão dos fenômenos apresentados (Quadro 4).

III. 1- Planos de aulas discriminados

A seguir são apresentados os planos de aula utilizados neste trabalho, onde são mostrados os conteúdos ministrados nas aulas e também os recursos didáticos utilizados no processo de ensino-aprendizagem.

Os processos de ensino se concretizam à medida que os objetivos traçados são alcançados. Planejar o processo de ensino-aprendizagem é traçar estratégias que promovam o desenvolvimento cognitivo dos alunos fazendo o conhecimento adquirido por eles terem sentido e aplicabilidade.

O planejamento do trabalho em sala de aula é à base da construção do processo de ensino e aprendizagem. Planejando sua ação, o professor tem a possibilidade de saber exatamente qual o ponto de partida e o de chegada para cada tema abordado em seu curso.

Há objetivos gerais e específicos que devem ser definidos e alcançados, cabendo ao professor conduzir sua ação a partir de um plano de trabalho estruturado. (Ramos e Bonjorno. 2005)

O planejamento das aulas é mostrada no Quadro 1.

Quadro 1- Plano de aula.

Obs: a unidade aula é 100 min.

Aula	Atividades	Objetivos
1	-Apresentação da Reportagem Científica (RC). -Pré-teste.	-motivar os alunos a aprenderem o conteúdo das próximas aulas. -diagnosticar os conceitos pré-existentes e necessários de Mecânica da Partícula.
2	-Teoria da Gravitação-parte 1 (a evolução dos modelos cosmológicos)	- apresentar uma perspectiva histórica da ciência e enunciar as leis de Kepler.
3	-Teoria da Gravitação - parte 2 (A Lei da Gravitação Universal)	-apresentar e discutir uma teoria de grande importância no campo da Física, desde seus pressupostos até sua contribuição para a História da Ciência.
4	-Lista de exercícios (Anexo 5) trabalhados em sala de aula.	aplicar os conhecimentos discutidos em sala de aula.
5	-Releitura da reportagem inicial -Pós-teste	- verificar se objetivos foram alcançados.
	-Pós-instrução	- verificar o que aprenderam da sobre a TG

O Quadro 2 apresenta os tópicos e sub-tópicos discutidos nas aulas, os objetivos e os recursos didáticos utilizados.

Quadro 2- Conteúdos e Objetivos específicos do tópico de ensino (TG).

Tópicos	Objetivos	Sub-tópicos	Recursos didáticos	Aula
Sistema solar (ANEXO 6)			Transparências Fig-18	1
A evolução dos modelos cosmológicos (ANEXO 6)	-Apresentação histórica dos modelos Geocêntricos e Heliocêntricos	Paralaxe estelar	transparências Fig-19,20,21,22 e 23	
Leis de Kepler * (ANEXO 6)	-Enunciar a lei de Kepler da Gravitação Universal. -Descrever o movimento dos planetas	-Estações do ano -Fases da lua -Constelações zodiacais -Eclipses	-transparências Fig-24,25 transparências (ANEXO 4) Fig - 5,6,7,	
Lei da Gravitação Universal (ANEXO 6)	-Identificar a força gravitacional como força responsável pelo movimento de um planeta em torno de outro. -Identificar a força gravitacional como uma força atrativa em direção ao centro dos corpos. -Perceber que a intensidade da força gravitacional aumenta com a massa e diminui com o quadrado da distância. -Reconhecer a força peso, responsável pela queda dos corpos, como caso particular da força	-Marés -Precessão -Descoberta do planeta Netuno e Urano	-transparências -exercícios de fixação (ANEXO 4) Fig- 12, 13, 14,	2

	gravitacional. -Comparar a intensidade da força peso exercida por diferentes planetas sobre um mesmo corpo situado na sua superfície.			
Aceleração da Gravidade (ANEXO 6)	-Obter a aceleração da gravidade em função da distância.	-Buracos negros -Imponderabilidade	-transparências - experimento demonstrativo (ANEXO 4) Fig-15,16 e 17	

* Será desenvolvido neste tópico as Atividades 1 e 2: estações do ano e fases da Lua, descritas no Anexo 5

Como mencionado, o objetivo geral das aulas sobre TG é levar o aluno a reforçar e revisar os conceitos de Mecânica já ensinados, logo mapeá-los é necessário. Esse é o ponto de partida, conhecendo-o torna-se mais fácil saber onde se quer chegar. A seguir são apresentados os pré-requisitos necessários para compreensão da TG.

Quadro 3- Pré-requisitos

Assunto	Conteúdos explorados	Pré-requisitos
O Sistema Solar	Translação	MCU
Geocentrismo X Heliocentrismo	História da ciência	Sistema de referências
As leis de Kepler	Cinemática celeste	MCU
Lei da Gravitação Universal	Dinâmica celeste	As Leis de Newton, queda dos corpos, MCU

Este quadro estabelece a relação entre os conteúdos a serem trabalhados e conceitos necessários para melhor compreensão de cada tópico.

Quadro 4- Pré-requisitos e os fenômenos celestes

Fenômenos	Conteúdos explorados	Pré-requisitos
Os movimentos da Terra	Translação, rotação e precessão.	MCU e LGU
Movimentos da Lua	Translação, rotação e fases da lua.	MCU
Eclipses lunar e solar	Propagação retilínea da Luz	Noções básicas de luz
Paralaxes estelares	distâncias	MCU e noções de triângulos
Estações do ano	Translação	MCU
As marés	Lei da gravitação universal	Dinâmica do MCU
Movimento de satélites	Lei de gravitação universal	Dinâmica do MCU
Buracos negros	Campo gravitacional	Queda dos corpos

*MCU- Movimento Circular Uniforme.

III. 2 – Instrumentos de avaliação

As escolhas das questões do **Pré-teste** e **Pós-teste** (ANEXO 2) são baseadas na tabela de pré-requisitos (Quadro 3), e são mostradas abaixo (Quadro 5). Procuraram-se questões representativas, com intuito de avaliar a compreensão dos alunos sobre esses conceitos (Mecânica da Partícula). A Teoria da Gravitação aborda o macro-mundo, onde as interações entre os corpos são governadas pela ação de forças gravitacionais. Os objetos de estudo são muito grandes se comparados com os objetos do cotidiano, logo os conceitos de Mecânica da Partícula são necessários para o processo de ensino-aprendizagem dessa teoria. A avaliação será fundamentada nesses conceitos, no intuito de verificar os objetivos gerais deste trabalho.

Quadro 5- Distribuição das questões do pré-teste

Conceitos básicos	Seções	Pré-requisitos	Questões do pré-teste
translação	O sistema solar	Movimento circular e uniforme, ordem de grandeza.	2
História da ciência Definições básicas	GeocentrismoX Heliocentrismo	Sem requisitos.	
Cinemática celeste	As leis de Kepler	Movimento circular e uniforme, geometria básica e conceitos de cinemática, operações matemáticas fundamentais	2
Dinâmica celeste	Lei da Gravitação Universal	As Leis de Newton, queda dos corpos, MCU, leis de Newton e ordem de grandezas	1, 3, 4, e 5

O teste de Pós-instrução verifica o que os alunos aprenderam ao longo das duas aulas, é composto por 4 questões qualitativas sobre as Leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal, cujas respostas são discursivas e curtas. Ainda neste instrumento, os alunos escrevem de forma livre o que aprenderam nas aulas sobre a TG.

IV-INSTRUMENTOS, GABARITOS E COMENTÁRIOS.

Nesta seção são apresentados e comentados os instrumentos utilizados em sala de aula para diagnosticar os conhecimentos dos alunos sobre Mecânica da Partícula. São utilizados uma Reportagem Científica (ANEXO 1) e um Pré e Pós-teste (ANEXO 2). A seguir são apresentados os comentários dessas avaliações.

IV.1- Material introdutório (RC)

Listaram-se as dúvidas dos alunos, após a leitura da Reportagem Científica mencionada anteriormente como mostra o Quadro 6.

Quadro 6- Dúvidas levantadas pelos alunos

Conceitos não compreendidos Pelos alunos	Explicação dada pelo professor
A oscilação da luminosidade	Este conceito está associado ao brilho das estrelas que oscila com o tempo. Os planetas não possuem está oscilações brilham no céu com luminosidade fixa, pois são iluminados pelo Sol.
Constelação de Touro	É uma das constelações vistas da Terra devido ao movimento de seu movimento de translação ao redor do Sol.
Elíptico	É a forma da trajetória seguida pelos planetas que gravitam ao redor do Sol.
Sonda	Engenho utilizado nos vôos

	espaciais exploratórios para a coleta de informações sobre o espaço exterior.
Poeira espacial	São meteoróides, asteróide e poeira que preenchem o espaço.
Órbita	Trajatória fechada que um astro descreve em torno de outro.
Período de 30 anos	Este fenômeno ocorre por dois fatores básicos: O período de translação de Saturno é 30 vezes maior do que o período da Terra. As órbitas dos dois planetas em torno do Sol são elípticas.

No término da aula, após a explicação do professor dos pontos que não ficaram muito claro, os alunos fizeram uma releitura da reportagem e foram perguntados sobre o por quê de Saturno fica mais brilhante a cada 30 anos.

Explicação

Como os planetas estão a distâncias diferentes em relação ao Sol, então os seus períodos de translação não são iguais. Saturno demora mais tempo que a Terra para dar uma volta ao redor do Sol, por isso, a Terra passaria uma vez por Saturno a cada um ano, entretanto como as órbitas são elípticas existe um ponto privilegiado entre as duas órbitas que deixa os dois planetas mais próximos, conseqüentemente Saturno ficaria mais brilhante visto por um observador aqui na Terra.

Como já mencionado na Metodologia, um dos objetivos desse instrumento é motivar os alunos aprenderem os conceitos relacionados a Teoria da Gravitação. Após

intervenção notou-se que cerca de 5/21 alunos mostraram interesse em querer saber mais sobre o assunto, os demais não manifestaram suas opiniões.

A seguir são apresentados Pré e Pós-testes utilizados neste trabalho, com os gabaritos e comentários de cada questão.

IV.2-Pré e Pós-teste (Anexo 2)

O teste é composto por cinco questões que versavam sobre: Leis de Newton, Queda livre, Cinemática da partícula e operações com Potências de dez.

As questões do Pré-teste foram selecionadas dos livros **Física-de olho no mundo do trabalho**.(Máximo e Alvarenga) e do livro **Física para o 2º grau** (Guimarães e Fonte boa).

A seguir são apresentadas as questões do Pré e Pós-teste e o gabarito comentado.

Questão 1. Efetue a operação: $\frac{7 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 10^{-2}}$

Gabarito

$$\frac{7 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 10^{-2}} = 14$$

Comentários

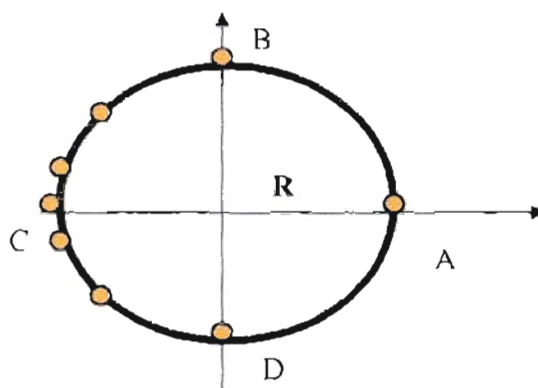
O conhecimento da notação em potências de dez é necessário no estudo da TG, por que as dimensões no Universo são demasiadamente grandes comparadas as do cotidiano, como discutido na análise da questão anterior. O aluno deve saber trabalhar com potências de dez, e se não tiver esse conhecimento necessário, simplesmente deixará de realizar várias atividades e compreender vários resultados.

Questão 2. Um corpo descreve uma trajetória elíptica no sentido anti-horário, mas para simplificar utiliza-se uma trajetória circular. O intervalo de tempo entre duas posições consecutivas é de 2 segundos (como mostrado na figura). O raio da trajetória R é 10 m. Com base nestas informações responda:

a) Pode-se afirmar que o movimento é uniforme?

Sim () Não (). Justifique.

b) Qual é a velocidade de A até B



Gabarito

O item a, requer que estudante seja capaz de reconhecer os dois tipos de movimentos presentes na situação justificando. De D até B, o movimento pode ser considerado uniforme, por que percorre distancias iguais em tempos iguais e de B até D o movimento é a celerado, pois em tempos iguais o corpo percorre distâncias diferentes.

O item b solicita que o estudante calcule a velocidade de A até B, neste trecho. O objeto percorre $\frac{1}{4}$ do comprimento da circunferência no intervalo de 2 s.

$$V = \frac{1(2 \cdot \pi \cdot 10)}{4 \cdot 2} = 7,5 \text{ m/s}$$

$$4 \cdot 2$$

Comentários

A situação descrita na questão acima é uma composição dos movimentos uniforme e não uniforme, aplicado a um movimento circular. Na metade do círculo que vai de D até B pode-se considerar o movimento com velocidade constante, pois percorre distâncias iguais em tempos iguais. Na outra metade a distância percorrida não é a mesma para o mesmo intervalo de tempo, sendo assim o movimento deixa de ser uniforme, nesse caso a velocidade aumenta e diminui ao longo do trecho B.

Questão 3. Um astronauta, com vestimenta apropriada, foi pesado aqui na Terra, encontrando-se um valor de 1200 N para o conjunto astronauta e vestimenta? Qual é a massa do conjunto?

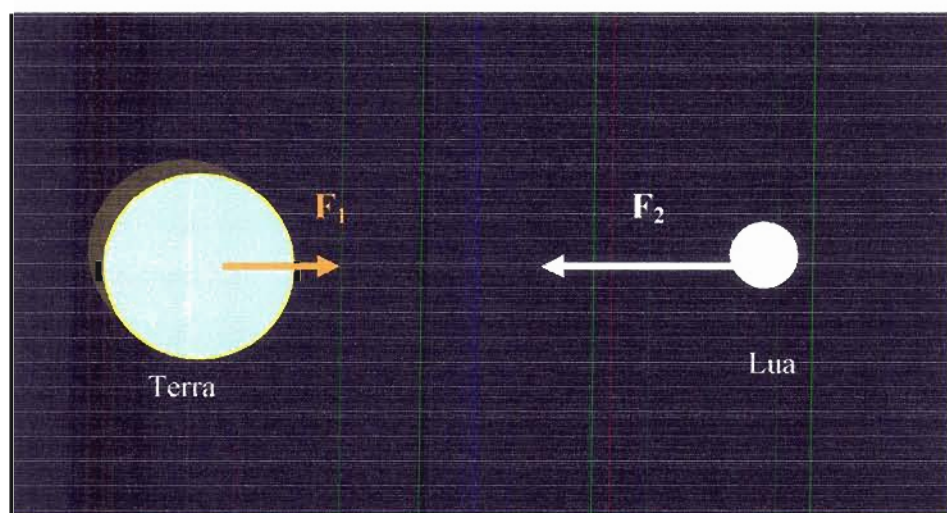
Comentários

Nessa questão o aluno deverá conhecer e distinguir a relação entre peso e massa de um corpo. Esse conceito é fundamental para a compreensão da TG, onde se discute matematicamente o campo gravitacional através da Lei da Gravitação Universal, concluindo que a gravidade só pode ser considerada constante próxima à superfície da Terra ou de qualquer corpo celeste

Gabarito

Deseja-se saber qual a massa do conjunto, que pode ser obtida através da relação entre o peso e a aceleração gravitacional(m/g), chegando-se ao valor de 120 kg.

Questão 4. É fato conhecido que a Terra exerce uma força de atração sobre a Lua. Pela terceira lei de Newton, podemos concluir que a Lua também atrai a Terra. A figura foi encontrada num livro de física, ilustrando as força de ação e reação entre a Terra e a Lua. Há um grave erro na figura. Diga qual esse erro?



Gabarito

A forças mostradas na figura tem intensidades diferentes.

Comentários

Procurou-se nessa questão verificar o conhecimento da terceira lei de Newton, de como as forças atuam sobre os corpos mostrando a ação e reação. Na questão em particular é solicitado que o aluno indique o erro na figura acima cujo conhecimento da terceira lei lhe permite responder que as forças deveriam ter a mesma magnitude.

Questão 5. *A ausência de atmosfera na Lua, e, portanto de qualquer força de resistência durante a queda dos corpos, permitiu que um dos astronautas que lá esteve realizasse uma importante experiência. ele largou simultaneamente da mesma altura um martelo e uma pena. O que aconteceu? Por quê? A força peso que atua nos dois corpos é igual?*

Gabarito

A primeira pergunta é: o que aconteceu com a pena e o martelo? Caíram juntos.

A segunda pergunta é: por que caíram juntos? Como na lua não tem atmosfera, não há resistência do ar, logo pela Lei de Queda Livre os corpos devem cair juntos.

Terceira pergunta é: A força Peso que atua nos dois corpos é igual? Não, por que o peso depende de suas massas, como o martelo é mais pesado então a força peso é maior sobre o martelo.

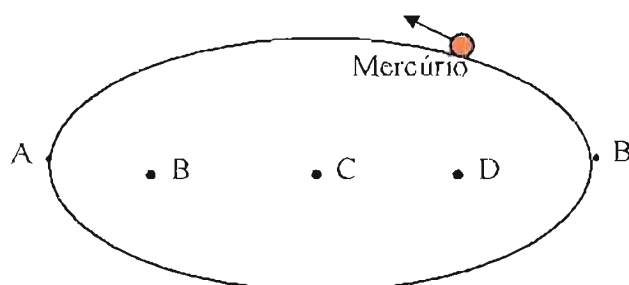
IV. 3-Avaliação Pós-instrução

Este instrumento foi aplicado após a instrução com objetivos de avaliar aprendizagem dos novos conceitos contidos na Teoria da Gravitação. Escolheram-se quatro questões do livro-texto **Física de olho no mundo do trabalho** (Alvarenga e Máximo) que versam sobre As leis de Kepler e A lei da Gravitação Universal.

Na última questão, os alunos são solicitados a expressarem livremente o que aprenderam nas aulas, cujo objetivo é saber como eles aproveitaram as aulas e o que foi significativo para eles ao longo de todo o processo de ensino e aprendizagem.

A seguir são apresentados as questões desse instrumento e seus respectivos gabaritos e comentários.

Questão 1. *A figura representa a trajetória do planeta Mercúrio em torno do Sol. Sabendo-se que a velocidade deste planeta é máxima quando ele passa por E. Qual dos pontos B, C ou D melhor representa a posição do Sol?*



Gabarito

ponto D

Comentários

Pela primeira Lei de Kepler, sabemos que o Sol não está no centro, mas situado em um dos focos da elipse (que poderia ser B ou D). Pela segunda Lei de Kepler, sabemos que um planeta se move mais rapidamente quando está passando mais próximo ao Sol. Então, o ponto D representa mais adequadamente a posição do Sol.

A questão envolve a relação peso e massa agora sob aspecto qualitativo, para responder essas perguntas o estudante deve utilizar conhecimento sobre a queda dos corpos proposta por Galileu e também o conhecimento das Leis de Newton.

Questão 2 *Lembrando-se da Terceira Lei de Kepler, responda justificando: o período de revolução do planeta Netuno é maior, menor ou igual ao do planeta Júpiter? (Júpiter está mais próximo do Sol do que Netuno)*

Gabarito

Maior.

Comentários

A terceira Lei de Kepler nos diz que o período de revolução de um planeta é tanto maior quanto maior for sua distância ao Sol. Então, como Netuno está mais longe do Sol, seu período de revolução é maior que o de Júpiter.

Questão 3 *Sabemos que os planetas descrevem órbitas praticamente circulares em torno do Sol. Explique por que Newton concluiu que deveria existir uma força atuando sobre os planetas.*

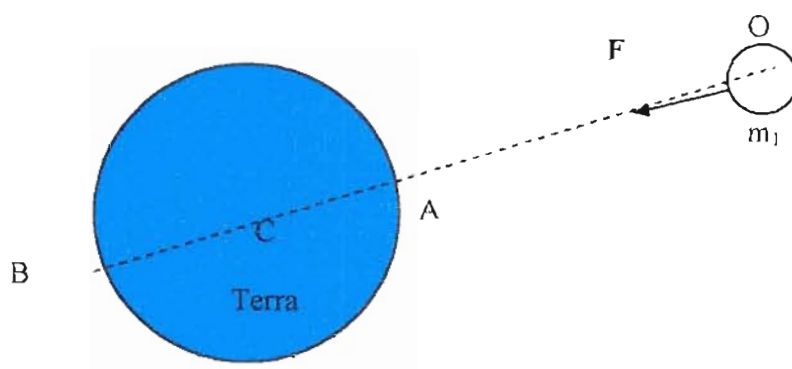
Gabarito:

Sempre que a trajetória é circular, deve estar presente uma força centrípeta.

Comentários:

Newton mostrou que a força que atua no planeta estava apontando para o Sol. Por isso suspeitou que o Sol deveria estar atraindo o planeta, sendo o agente responsável daquela força.

Questão 4 A figura deste exercício mostra um pequeno corpo de massa m_1 , situado a certa distância da Terra (massa m_2). Para calcular a for F de atração gravitacional que a Terra exerce sobre o corpo, $F = (G m_1 m_2) / R^2$, o valor da distância R deverá ser tomado igual ao AC , OC ou OB ?



Gabarito

OC

Comentários

Para utilização da Lei da Gravitação Universal devem-se tomar as distâncias entre os centros de massas dos corpos que estão interagindo entre si.

Questão 5 Diga o que você aprendeu nas aulas sobre a Teoria da Gravitação.

Comentários

As respostas desta questão são expressas livremente pelos alunos e mostradas no anexo 3.1.

V - DADOS

As informações recolhidas através dos instrumentos descritos na metodologia encontram-se representados no gráfico e Tabelas abaixo.

A TABELA 1 e GRÁFICO 1 apresentam a comparação do desempenho médio da turma (percentual) em cada avaliação (Pré e Pós-teste).

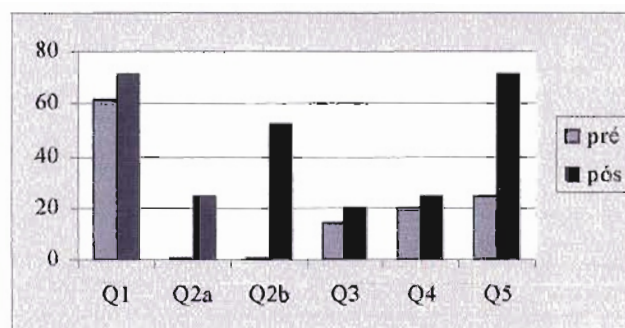
TABELA 1

Desempenho médio percentual nas questões do Pré e Pós-teste.

Questões	Q1		Q2-a		Q2-b		Q3		Q4		Q5		Média	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
% "correto"	62	71	1	24	1	52	14	40	20	24	24	71	17	47

GRÁFICO 1

Representação percentual dos acertos nos Pré e Pós-teste por questão



A TABELA 2 apresenta o desempenho médio da turma (percentual) para cada uma das perguntas da Avaliação Pós-Instrução.

TABELA 2

Desempenho médio percentual por perguntas da Avaliação Pós-Instrução.

Perguntas	PI	P2	P3-a	P3-b	P4	Média*
% "correto"	100	42	37	37	37	51

- ponderada

A TABELA 3 apresenta o desempenho de cada aluno por avaliação realizada, assim como a média da turma.

TABELA 3

Desempenho médio percentual de cada aluno por avaliação realizada

ALUNOS	PRÉ	PÓS	PI*
	% ACERTOS	% ACERTOS	% ACERTOS
1	100	100	60
2	25	51	-
3	33	87	40
4	0	33	20
5	33	50	20
6	16	33	60
7	16	33	40
8	16	33	20
9	16	50	80
10	16	67	40
11	25	50	80
12	16	87	40
13	25	50	40
14	33	33	60
15	50	67	100
16	50	50	40
17	33	87	80
18	33	50	40
19	16	33	80
20	25	50	-
21	16	16	20
Média:	25	51	51

* PI – Pós-Instrução

A TABELA 4 apresenta o percentual das respostas dadas pelos alunos na pergunta 5 da Avaliação Pós-Instrução, que solicitava que os alunos respondessem o que aprenderam nas aulas sobre a TG, as respostas foram separadas em grupos com seu respectivo percentual.

TABELA 4

Percentual das respostas dadas pelos alunos na pergunta 5 da Avaliação Pós-Instrução

Conceitos mencionados	Frequência de respostas(%)
LGU	32
As leis de Kepler	21
História da ciência	11
abstenções	21
Outros	16

V.1 Análise dos resultados

Pré-teste e Pós-teste

A TABELA 1 mostra uma melhora no desempenho (“% correto”) em todas as respostas dadas às questões do Pós-teste em relação ao Pré-teste. O item b da questão 2 e a questão 5 foram as que mostraram um crescimento maior no percentual de acertos, 50 %.

A linguagem utilizada pelos alunos ao responderem as questões do Pós-teste em relação àquelas que utilizaram no Pré-teste (TABELA 1), após as aulas, dá indícios de uma melhora na compreensão conceitual.

Exemplos:

Questão 4.

Aluno 3

Pré-teste - *A Lua e a Terra estão sendo atraídas uma pela outra, formando assim uma tração, as duas estão sendo puxadas, mas a Terra está agindo, e a Lua reagindo, tentando evitar que seja atraída com facilidade.*

Pós-teste - *A Terra não exerce uma força de atração sobre a Lua, simplesmente. A Terra atrai a Lua e a Lua atrai a Terra, sendo assim formando as forças de ação e reação.*

Questão 5.

Aluno 2

Pré-teste - *O martelo caiu primeiro, pois tem mais massa que a pena. O martelo é mais pesado*

Pós-teste - *Os dois caíram juntos, por que não há resistência sobre os corpos. A força peso é igual.*

Avaliação Pós-Instrução

A TABELA 2 apresenta o desempenho do grupo nas perguntas da Avaliação Pós-Instrução, mostrando um baixo desempenho, com exceção da questão 1, que obteve 100% de acertos justificados pelo critério utilizado pelo professor na correção, considerando os acertos parciais.

O baixo percentual observado nas questões 2, 3 e 4 (Terceira Lei de Kepler /Lei da Gravitação Universal) da Avaliação Pós-Instrução pode estar associado a problemas de compreensão dos enunciados por parte dos alunos e por não estarem acostumados a responder questões teóricas em Física. Outro aspecto, talvez de maior importância, foi o tempo insuficiente dedicado à construção dos conceitos associados à Gravitação.

A TABELA 4, obtida através de respostas livres expressas pelos alunos, que estão disponíveis no ANEXO 4, mostra que cerca de 32% dos alunos responderam que haviam aprendido a Lei da Gravitação Universal, o que vai ao encontro das informações disponíveis na Tabela 2 onde o percentual de acertos das questões sobre este assunto

representa 37%. A tabela 4 apresenta também um contra-senso na avaliação pós-instrução, as leis de Kepler foram bem respondidas, porém pouco mencionadas pelos alunos na última questão. Isto se deve provavelmente a importância que se deu aos trabalhos de Newton no desenvolvimento das aulas, no entanto sua aplicabilidade não foi bem desenvolvida em sala de aula. As Leis de Kepler não receberam tanta importância, mas como os alunos já possuíam a noção do comportamento físico do Sistema solar, isto pode ter contribuído para a acomodação desta informação na estrutura cognitiva dos alunos.

VII - CONCLUSÃO

No início deste trabalho, fizemos a suposição que a Teoria da Gravitação pode levar o aluno a revisar e a reforçar conceitos de Mecânica estudados anteriormente. A estratégia desenvolvida utilizou dois instrumentos de avaliação para testar essa hipótese: o primeiro verificou os conceitos de Mecânica pré e pós a instrução, com objetivo de avaliar o efeito da discussão de elementos da Teoria da Gravitação em sala de aula no conceitos de Mecânica existentes; o segundo, a avaliação Pós-instrução, cujo objetivo era constatar o que os alunos aprenderam sobre os novos conceitos de Gravitação apresentados e discutidos ao longo das aulas.

O resultado revelou que o assunto abordado nas aulas influencia os conceitos de Mecânica que os alunos possuíam, como mostrado na TABELA 3. O aumento no índice de acertos no teste de conhecimento de Mecânica da Partícula foi satisfatório, 86% dos alunos (18/21) que participaram de todas as etapas da intervenção tiveram um melhor desempenho no Pós-teste, os demais mantiveram seus índices de acertos igual ao do Pré-teste. Pode-se ainda constatar pela TABELA 3, que 71% dos alunos (15/21) tiveram médias acima de 50, um ótimo resultado se compararmos com os 14% do Pré-teste (3/21).

Outro ponto importante que se deve ressaltar aqui é a melhora nas respostas dadas pelos alunos nos Pré e Pós-teste, mostrando que as aulas contribuíram para uma reestruturação da linguagem conceitual utilizada pelos alunos, como foi mostrado nos exemplos dados na seção anterior (p.25).

Deve-se comentar aqui também o baixo desempenho dos alunos no Pré-teste, onde se constatou que a maioria dos alunos não dispunha dos conceitos de Mecânica necessários para a aprendizagem dos novos conceitos apresentados pela TG, assim podemos aventar que a TG contribuiu para melhorias na reestruturação dos antigos conceitos aprendidos pelos alunos, como observado nos resultados do Pós-teste.

A aprendizagem de uma nova informação, segundo Ausubel (apud Moreira, 1980) depende do que os alunos já sabem. Este conceito se aplica a este trabalho, pois alguns alunos não tinham os conceitos chave para aprendizagem das novas informações contidas aqui. Como mencionado na seção 3, os alunos eram da 3ª série do Ensino Médio e haviam estudado Mecânica apenas na 1ª série, esse tempo contribuiu para que o desempenho não fosse melhor, no entanto, como descrito na METODOLOGIA deste trabalho, fez-se uma pequena revisão dos conceitos envolvidos no Pré-teste e em seguida os alunos retornaram a respondê-lo e mesmo assim o resultado não foi bom de acordo com as TABELAS 1 e 3.

Além do conteúdo tradicional sobre Gravitação, frequentemente discutido nos livros didáticos de Física para o Ensino Médio, foram inseridas ao longo das aulas algumas intervenções (estações do ano, marés, Buracos Negros etc...) como discutidas na METODOLOGIA. Estas intervenções foram realizadas com recursos didáticos pouco comuns em uma sala de aula da Rede Estadual de Ensino, entretanto não se pode dizer ao certo qual a contribuição destas intervenções nos resultados do Pós-teste, talvez alguns comentários feitos ao longo das discussões fundamentadas na Mecânica (leis de Newton, Lei de Queda Livre etc...) o que acabava por reforçar o que estava sendo apresentado nas aulas sobre Gravitação.

A experiência piloto nos permite propor melhorias em desenvolvimentos futuros na sala de aula.

- 1) Teste de conhecimentos prévios sobre Mecânica mais detalhado para uma melhor planejamento das aulas sobre TG
- 2) Que o ensino da TG seja incluído como um fechamento de Mecânica da Partícula permitindo uma melhor reestruturação dos conceitos anteriormente discutidos.
- 3) Material didático a critério do professor que deverá estar de acordo com os resultados do teste conhecimentos prévios
- 4) Recursos didáticos (revistas, filmes, documentários etc...) como aprofundamentos do que se discutiu em sala de aula.

Contudo, conclui-se que a Teoria Gravitação além de apresentar importância conceitual para o estudo da Física, numa perspectiva de História da Ciência no Ensino Médio, permite que o aluno revise e reforce os conceitos de Mecânica já apresentados em aulas ou séries anteriores. O professor ao produzir um material significativo sobre a TG pode utilizá-lo para fins de síntese dos conteúdos já apresentados e como janela para novas aprendizagens em Física. Como exemplo leis importantes que dependem do inverso do quadrado da distância (Magnetismo, Eletricidade, Óptica), além de fomentar discussões sobre um assunto muito interessante como as origens do Universo (i.e, Big Bang).

ANEXO 1

REPORTAGEM CIENTÍFICA

Título: Saturno mais brilhante no céu (Melo, Adriana, Ciência Hoje, 2002)

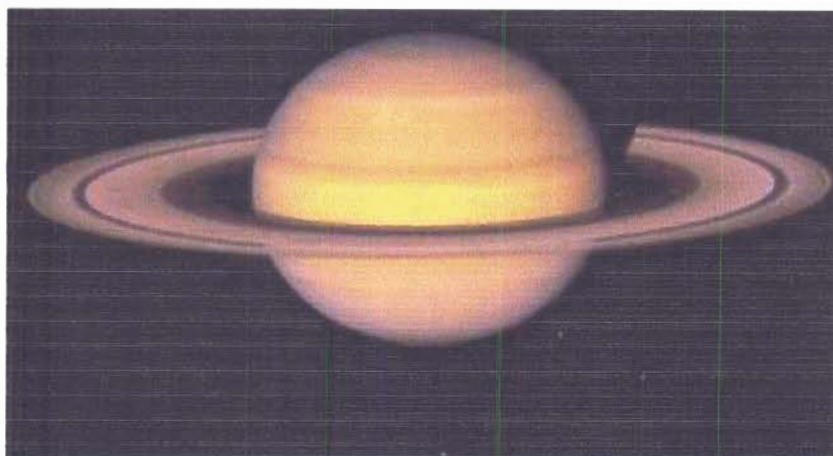


Figura 1- Saturno fotografado em 1981 pela sonda Voyager 2. Duas de suas luas - Réia e Dione - podem ser vistas a sul e sudeste respectivamente (foto: Nasa/JPL)

A distância entre a Terra e Saturno atinge em 17 de dezembro seu menor valor possível. A última vez em que Saturno esteve tão perto foi há trinta anos (período em que ele percorre sua órbita ao redor do Sol). Como naquela ocasião, os anéis estão voltados para a Terra e refletem a luz do Sol, o que torna o planeta mais brilhante e sua observação mais surpreendente. O planeta pode ser visto a olho nu, mas seus anéis só são identificados com o uso de pequenos telescópios.

Saturno e o Sol estão em lados opostos do céu com a Terra entre ambos, o que ocorre aproximadamente a cada 13 meses. Essa oposição será a melhor em trinta anos porque Saturno está no ponto de sua órbita mais próximo do Sol. Sua trajetória é elíptica, com um lado 6% mais perto do Sol que o outro.

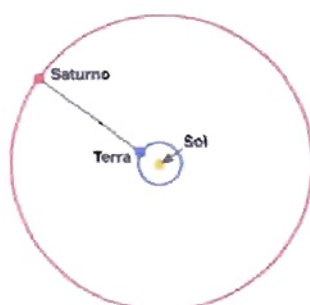


Figura 2- O tamanho das órbitas da Terra e de Saturno não está representado proporcionalmente: Saturno é 9,5 vezes mais distante do Sol do que a Terra

No dia 17, Saturno 'nascerá' às 19h30 (hora de Brasília) e ficará visível por toda a noite. O planeta está atualmente na constelação de Touro e é fácil localizá-lo. "Deve-se olhar para a porção nordeste-leste do céu após o pôr-do-sol", explica o físico Marcomede Rangel, do Observatório Nacional. "Saturno tem coloração amarelada e sua luminosidade não oscila como a das estrelas". O planeta estará perto da Lua, que está em Touro. Saturno permanecerá próximo à Terra por muitas semanas.

Saturno é o segundo maior planeta do Sistema Solar, com 120.536 km de diâmetro equatorial (cerca de nove vezes maior que o da Terra). Visto ao telescópio, é um dos mais belos corpos celestes, devido aos seus anéis. O astrônomo italiano Galileu Galilei (1564-1642) foi o primeiro a observá-los, em 1610, quando apontou para Saturno sua luneta rudimentar e descobriu o que acreditou serem dois satélites. A existência dos anéis só seria confirmada 45 anos mais tarde, pelo astrônomo holandês Christiaan Huygens (1629-1695).

Durante muitos anos pensou-se que os anéis eram gasosos; depois, que fossem sólidos. Atualmente admite-se que são compostos por milhares de partículas minúsculas que, vistas em conjunto, parecem formar uma massa sólida. A origem dos anéis, no entanto, permanece obscura. Acredita-se que eles teriam se formado pelo despedaçamento de um satélite ou asteroide pela gravidade de Saturno. Segundo outra hipótese, eles seriam compostos por fragmentos de um satélite que não conseguiu se constituir, ou seja, não se condensou

Os anéis teriam surgido muito depois de Saturno: alguns cientistas acreditam que eles são contemporâneos dos primeiros dinossauros, ou seja, surgiram há poucas centenas de milhões de anos (Saturno surgiu há 4,8 bilhões de anos). Enquanto o planeta gira em sua órbita, os anéis arrastam poeira espacial; se os anéis tivessem a mesma idade do planeta, não seriam claros e brilhantes, e sim escurecidos pelo acúmulo de poeira.

Saturno já foi visitado pelas sondas Pioneer 11 (1979), Voyager 1 (1980) e Voyager 2 (1981). A sonda [Cassini](#) está a caminho do planeta, onde deve chegar em julho de 2004. Será a primeira nave a entrar na órbita de Saturno e irá soltar uma cápsula prevista para pousar em [Titã](#), maior satélite de Saturno.

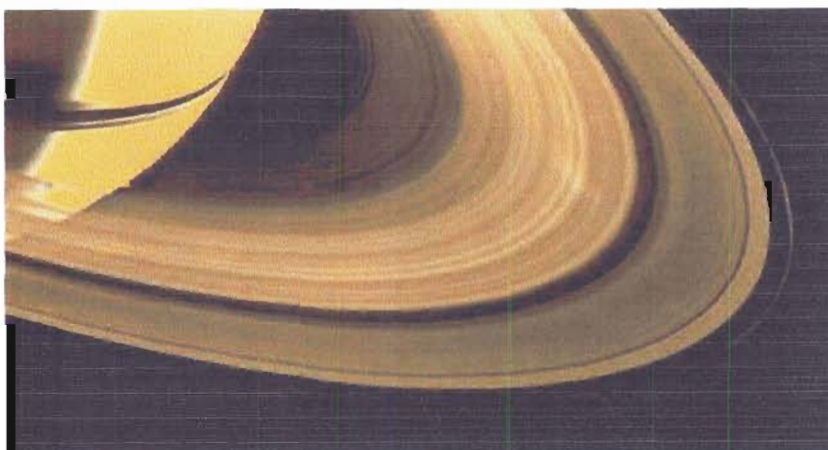


Figura 3- Foto dos anéis de Saturno feita em novembro de 1980 pela sonda Voyager 1 e realçada em computador por técnicos da Nasa.

ANEXO 2

PRÉ E PÓS-TESTE

CENTRO INTERESCOLAR ESTADUAL MIÉCIMO DA SILVA

Nome _____ nº _____ turma _____

O Objetivo desta avaliação é verificar os conhecimentos de Mecânica que vocês possuem, então respondam com sinceridade as questões propostas neste teste.

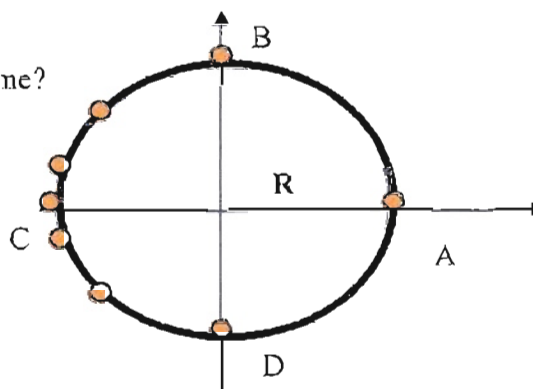
Questão 1. Efetue a operação: $\frac{7 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 10^{-2}}$

Questão 2. Um corpo descreve uma trajetória elíptica no sentido anti-horário, mas para simplificar utiliza-se uma trajetória circular. O intervalo de tempo entre duas posições consecutivas é de 2 segundos (como mostrado na figura). O raio da trajetória R é 10 m. Com base nestas informações responda:

a) Pode-se afirmar que o movimento é uniforme?

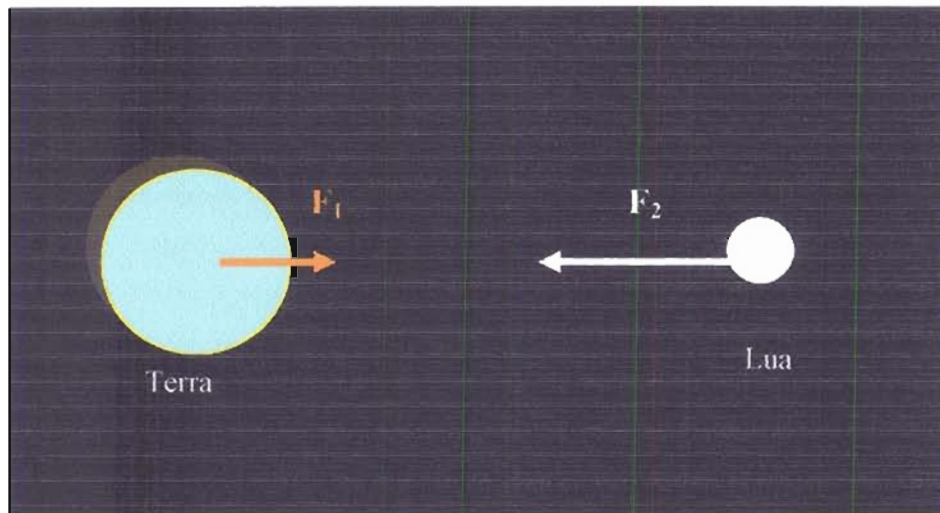
Sim () Não (). Justifique.

b) Qual é a velocidade de A até B



Questão 3. Um astronauta, com vestimenta apropriada, foi pesado aqui na Terra, encontrando-se um valor de 1200 N para o conjunto astronauta e vestimenta? Qual é a massa do conjunto?

Questão 4. É fato conhecido que a Terra exerce uma força de atração sobre a Lua. Pela terceira lei de Newton, podemos concluir que a Lua também atrai a Terra. A figura foi encontrada num livro de física, ilustrando as forças de ação e reação entre a Terra e a Lua. Há um grave erro na figura. Diga qual esse erro?



Questão 5. A ausência de atmosfera na Lua, e, portanto de qualquer força de resistência durante a queda dos corpos, permitiu que um dos astronautas que lá esteve realizasse uma importante experiência: ele largou simultaneamente da mesma altura um martelo e uma pena. O que aconteceu? Por quê? A força peso que atua nos dois corpos é igual?

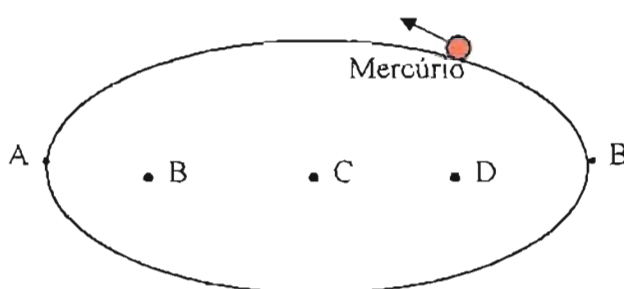
ANEXO 3

AVALIAÇÃO PÓS-INSTRUÇÃO
CENTRO INTERESCOLAR ESTADUAL MIÉCIMO DA SILVA

Nome: _____ nº _____ turma _____

Esta avaliação é para o 2º bimestre e vale 4 pontos. O conteúdo exigido é o trabalhado nas aulas de Teoria da Gravitação. Boa sorte.

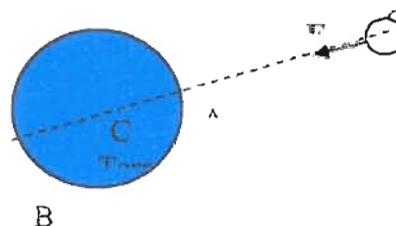
Questão-1. A figura representa a trajetória do planeta Mercúrio em torno do Sol. Sabendo-se que a velocidade deste planeta é máxima quando ele passa por E, Qual dos pontos B, C ou D melhor representa a posição do Sol?



Questão 2. Lembrando-se da Terceira Lei de Kepler, responda justificando: o período de revolução do planeta Netuno é maior, menor ou igual ao do planeta Júpiter? (Júpiter está mais próximo do Sol do que Netuno)

Questão 3. Sabemos que os planetas descrevem órbitas praticamente circulares em torno do Sol. Explique por que Newton concluiu que deveria existir uma força atuando sobre os planetas

Questão 4. A figura deste exercício mostra um pequeno corpo de massa m_1 , situado a certa distância da Terra (massa m_2). Para calcular a força F de atração gravitacional que a Terra exerce sobre o corpo, $F = (G m_1 m_2) / R^2$, o valor da distância R deverá ser tomado igual ao AC, OC ou OB?



Questão 5. Diga o que você aprendeu nas aulas sobre a Teoria da Gravitação.

ANEXO 4

Questão 5. Diga o que você aprendeu nas aulas sobre a Teoria da Gravitação

RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 5 DA AVALIAÇÃO PÓS-INSTRUÇÃO DADA PELOS ALUNOS.

A finalidade desta questão é de que os alunos, de forma livre, pudessem expressar o que aprenderam ao longo da intervenção.

Manteve-se a forma original das respostas escrita e os possíveis erros de gramática.

- 1) Que os planetas orbitam ao redor do Sol em órbitas elípticas cujo Sol ocupa um dos focos.
- 2) Entendi o por que dos planetas giram em torno do Sol, e como é esse movimento.
- 3) Que os planetas tem uma órbita elíptica
- 4) Eu aprendi que a matéria atrai matéria, as leis de Kepler e muitas coisa mais relacionadas a física que não é a teoria da Gravitação.
- 5) Que todos os corpos que atuam no Universo tem uma força gravitacional
- 6) A força de atuação sobre os planetas
- 7) Que as matérias, ambas se atraem na razão direta do produto das massas e inversas do quadro da distância.
- 8) Que as órbitas dos planetas são elípticas, a velocidade dos planetas não é constante.
- 9) Matéria atrai matéria na razão direta do produto das massas e inversa do quadrado da distância
- 10) Para que a Teoria da Gravitação seja considerável, é preciso que uma das massas seja muito grande. E é isso que acontece com o sistema solar, no qual o Sol é bem maior que todos os planetas.
- 11) Aprendi as leis que Kepler, cada planeta descreve uma órbita elíptica em torno do Sol, leis áreas e leis dos períodos.
- 12) Que dois planetas se atraem pela força da gravidade, que para essa atração existir é preciso que um corpo seja muito maior que o outro.
- 13) Até chegar a Lei da Gravitação Universal, foram feitos muitos estudo, cada descobertas de um cientista era estudada cada vez mais por outros cientistas.
- 14) Quando eu prestava atenção, eu pude perceber o quanto a gravidade é importante que é por causa disto que a Terra gira ao redor do Sol.

15) A evolução começando por Aristóteles até Isaac Newton, destacando Kepler, que fez várias descobertas e até hoje usamos seus métodos que foram mais eficazes.

ANEXO 5

Intervenções realizadas nas aulas.

Os textos abaixo foram retirados do site: www.rio.gov.br/plaquetário.

Parte I

Paralaxe

Um dos maiores desafios da Astronomia está na determinação das distâncias dos astros. Porém, os objetos mais próximos podem ter medidas as suas distâncias através de um método muito simples de se compreender e calcular, conhecido como paralaxe.

Primeiro vamos fazer uma simulação para entendermos o método para depois aplicá-lo às estrelas.

Fique de frente para uma parede e estique um dos braços com um dos dedos levantado. Feche um dos olhos e observe a posição em que o dedo é projetado na parede. Marque este ponto (visualmente ou com algum traço ou objeto). Agora, inverta o olho que deverá ficar fechado. Observe como a projeção do dedo se deslocou. Medindo a distância entre seus olhos e o ângulo de deslocamento da projeção do dedo podemos calcular a distância deste último.

Vamos ver como usamos este método na Astronomia para calcular as distâncias de algumas estrelas.

Observamos uma estrela em duas épocas do ano, verão e outono, por exemplo, quando a Terra está em posições distintas na sua órbita, como podemos ver na figura abaixo. Como a órbita da Terra é bem conhecida, sabemos a distância desta até o Sol. (Em analogia com o experimento descrito acima, a órbita da Terra fará o mesmo efeito que a distância entre os olhos.)

Feito isto, medimos o ângulo formado pelo deslocamento da estrela observada em relação ao fundo do céu. Chamamos a metade deste ângulo de paralaxe.

Podemos chegar à distância da estrela através de uma fórmula bem simples:

$$d = 1/p$$

Onde: p é a paralaxe medida em arcos de segundo e d é a distância do objeto observado medida em parsec (1pc = 3,26 anos-luz = 3,26 x 9,5 x10¹² km).

Como o ângulo de deslocamento (paralaxe) é muito pequeno e diminui quanto mais distante está o astro, este método se limita a distâncias de até 300 anos-luz, aproximadamente. Mais de 2.000 estrelas estão neste alcance. Outras técnicas são utilizadas para determinar as distâncias de estrelas mais distantes.

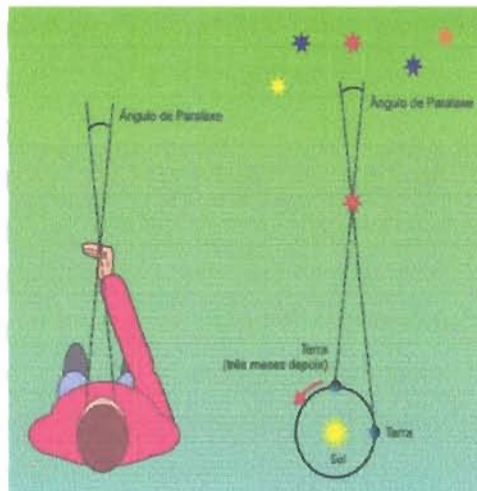


Figura 4- Verificando a paralaxe

Estações do ano e constelações zodiacais

A Terra leva um ano para descrever uma órbita em torno do Sol, ao longo de um plano denominado eclíptica.

A Terra gira em torno de si cerca de 24 horas. O eixo de rotação projetado na superfície dá lugar aos pólos norte e sul. Perpendicularmente ao

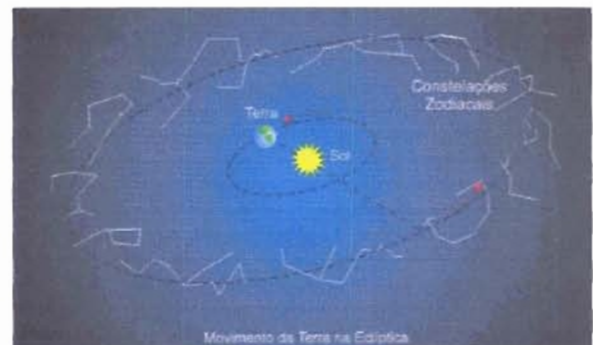


Figura 5- As constelações zodiacais

eixo e passando pelo centro da Terra, temos o plano do equador. A projeção desse plano na superfície da Terra recebe o nome de linha do equador, e na esfera celeste de equador celeste.

O equador celeste não coincide com a eclíptica; um está inclinado em relação ao outro cerca de 23,5 graus. O eixo de rotação terrestre, projetado na esfera celeste, indica os pólos norte e sul celeste; este eixo "sempre" aponta para o mesmo ponto na esfera celeste. Graças a isso, ao longo de um ano o nosso planeta passa por quatro posições particulares: dois solstícios que marcam os inícios do verão e do inverno, e dois equinócios que marcam os inícios da primavera e do outono.



Figura 6- A eclíptica

Solstícios (verão ou inverno) - Ocorrem quando o Sol atinge seu máximo afastamento angular do equador celeste. O hemisfério da Terra em que estiver acontecendo o solstício de verão, terá o dia (período de insolação) com duração mais longa, enquanto o hemisfério oposto marca o solstício de inverno, quando as noites têm duração mais longa.

Quanto mais afastados estivermos do equador terrestre, maiores serão as diferenças entre os dias e as noites ao longo do ano. No equador, em qualquer época, os dias e as noites têm sempre a mesma duração.

Equinócios (primavera ou outono) - Ocorrem quando o Sol cruza o equador celeste. Nestes dias, em qualquer ponto da Terra, dias e noites têm igual duração (12 horas). Quando em um hemisfério estiver acontecendo o equinócio de outono, no outro estará ocorrendo o de primavera. Os equinócios podem ocorrer em 20 ou 21 de março e 22 ou 23 de setembro, já os solstícios nos dias 21 ou 22 de dezembro e 20 ou 21 de junho. Essa variação é consequência de o ano civil ter um número inteiro de dias, 365 ou 366, e o período decorrido entre uma mesma

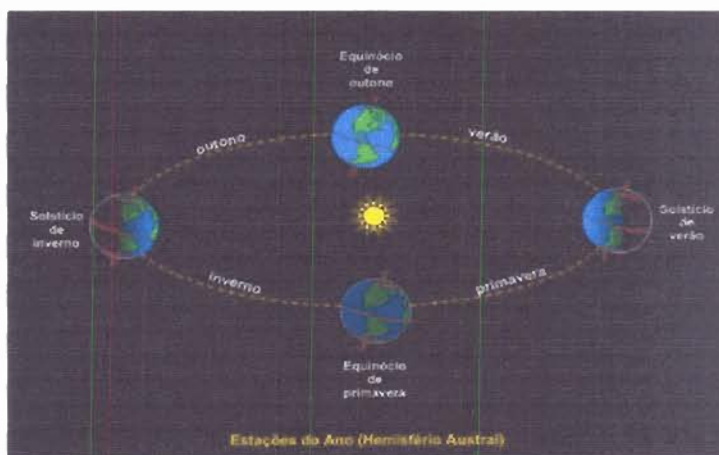


Figura 7- As estações do ano

estação consecutiva ser de 365,2422 dias - é válida apenas em locais de clima temperado

Em alguns livros explicam-se de maneira equivocada as estações do ano. Segundo estas publicações, as estações ocorreriam devido à variação da distância entre a Terra e o Sol (no verão a Terra estaria mais perto do Sol e no inverno mais afastada). De fato a órbita da Terra é uma elipse, mas a variação da distância ao longo do ano em termos percentuais é muito pequena, menos de 2%. Além disso, por esta explicação, teria que ocorrer a mesma estação em toda a Terra ao mesmo tempo. A variação anual da distância entre o Sol e a Terra afeta, contudo, a duração das estações do ano, em função da segunda lei de Kepler (o planeta se desloca mais rápido quanto mais próximo ele estiver do Sol). Com isso, o verão no hemisfério Sul e o inverno no hemisfério Norte são as estações mais curtas, atualmente duram 88,99 dias, pois a Terra passa pelo periélio em 2 ou 3 de janeiro. Já o inverno do hemisfério Sul e o verão do hemisfério Norte duram 93,65 dias, sendo as estações mais longas.

Atividade 1: Modelos de isopor

Utilizando-se uma bola de isopor de uns 20 centímetros de diâmetro, transpassada por uma agulha de tricô ou algo semelhante, fixada em uma base de madeira com uma inclinação de 23 graus em relação à vertical, teremos um modelo da Terra com seu eixo de rotação. Marcam-se agora os pólos e a linha do equador. Sobre uma mesa instale o modelo e uma lâmpada para simular o Sol. Mantendo o eixo de rotação "apontado" para a mesma direção, pode-se demonstrar que ora um hemisfério receberá mais luminosidade, ora o outro. Percebe-se ainda que durante seis meses um pólo receberá continuamente a luz solar, enquanto o outro permanecerá de noite no mesmo período.

Ainda sobre este assunto, sugerimos um experimento que permita compreender porque a altura do Sol no céu influencia a temperatura, tanto anualmente como diariamente. O efeito é causado pela variação do ângulo de incidência dos raios solares, que se espalham sobre uma superfície maior no planeta (ou volume maior da atmosfera) nas regiões em que o Sol está baixo, e menor nas regiões em que está mais alto no céu.

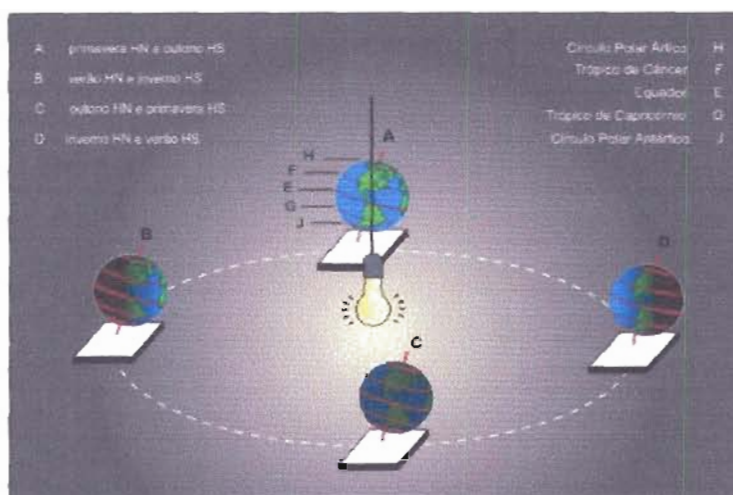


Figura 8- representação das estações do ano

Fases da Lua

A alternância do aspecto da Lua foi um dos primeiros fenômenos astronômicos observado com atenção pelo homem. A periodicidade das fases foi, desde tempos mais remotos, usada como unidade de tempo; os doze meses derivam das doze lunações que ocorrem em um ano.

As fases da Lua se devem à iluminação que a Lua recebe do Sol e como esta é refletida



para a Terra. Como a Lua se desloca em torno da Terra e esta ao redor do Sol, vemos a fração iluminada da Lua mudar constantemente.

Costuma-se dividir em quatro as fases da Lua: nova, quarto crescente, cheia e quarto minguante.

Figura 9- Esquema representativo das fases da Lua.

Atividade 2: Modelos de isopor

Uma lâmpada simulará o Sol e uma pequena bola de isopor com uns cinco centímetros presa por um lápis fará o papel da Lua, com o braço esticado. Conforme a posição em que a "Lua" é vista em relação ao Sol, vemos as diversas fases. Veja no desenho a seguir.

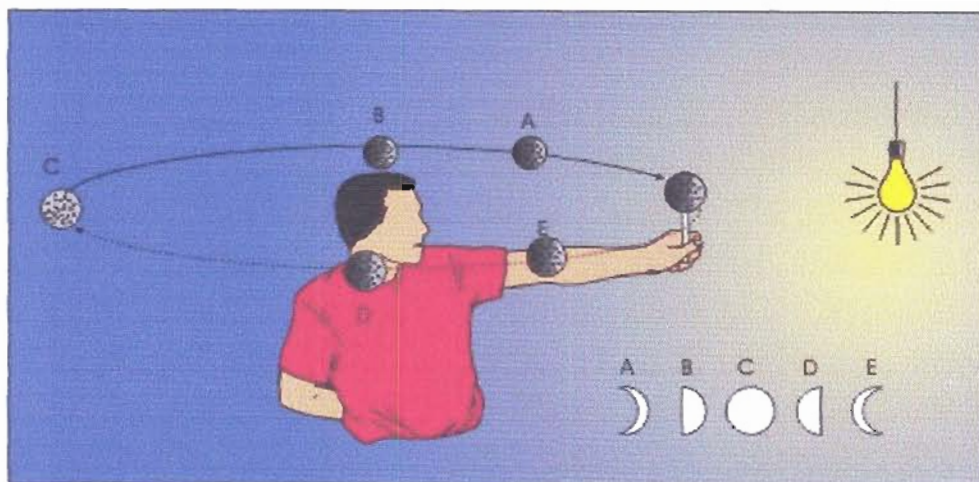


Figura 10- Modelo explicativo das fases da Lua.

Nota: É provável que ocorram "eclipses". Isto vai acontecer com mais frequência que na natureza, porque o plano de órbita da Lua tem uma inclinação e, além disso, nossa simulação não reproduz com fidelidade a escala de tamanhos e distâncias. (Veja em Eclipses mais detalhes)

Eclipses

Ao olharmos o desenho, pode parecer que a Lua na fase nova fique exatamente na frente do Sol ou que na fase cheia a Terra se interponha entre a Lua e o Sol. Isso não ocorre sempre porque o plano da órbita da Lua ao redor da Terra está inclinado em relação ao plano orbital da Terra ao redor do Sol (cerca de cinco graus). Periodicamente, contudo, se a Lua se encontrar na interseção dos dois planos e, além disso, for Lua nova ou cheia, ocorrerá o eclipse do Sol no primeiro caso, e da Lua, no segundo.

Eclipses da Lua - Ocorrem quando a Terra bloqueia a luz solar, impedindo que esta atinja nosso satélite. Mesmo na totalidade, ainda podemos ver a Lua que, nesse momento, adquire um tom avermelhado ou alaranjado. Isso se deve aos raios solares, que atingem a atmosfera

da Terra e espalham-se, iluminando nosso satélite. Nessa situação, só a luz vermelha consegue atravessar a espessa atmosfera e atingir a Lua.

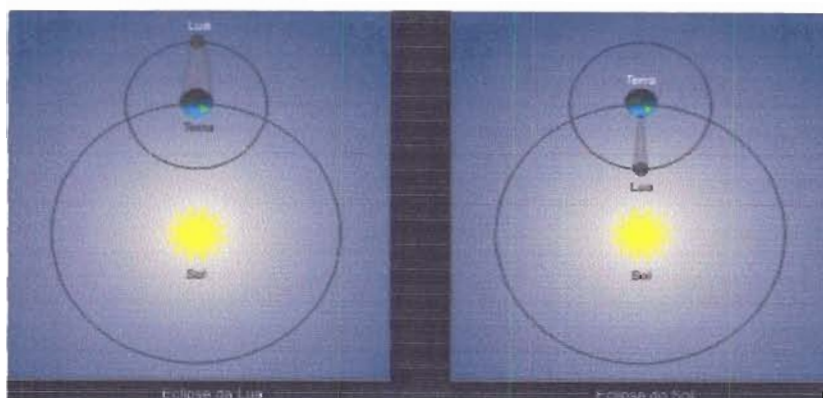


Figura 11-(a) representação do eclipse lunar; b) representação do eclipse solar.

Eclipses solares –

Ocorrem quando a Lua passa entre a Terra e o Sol. A Lua e o Sol apresentam quase o mesmo diâmetro angular. Mas como as distâncias entre estes astros e a Terra variam, os seus tamanhos angulares também variam, de modo que ora o Sol é angularmente maior, ora a Lua. Então um eclipse que ocorra no segundo caso, a Lua encobrirá totalmente o disco solar; é o eclipse total. Já no primeiro caso restará, na fase máxima, um pequeno anel; é o eclipse anular.

Nos eclipses totais, o observador tem oportunidade de ver as estrelas mais brilhantes, além de planetas. Contudo, o mais espetacular é a observação da coroa solar, um halo luminoso, em geral não uniforme, que aparece em torno do Sol e alcança temperaturas superiores a um milhão de graus.

Tanto os eclipses solares como os lunares podem ser parciais quando, mesmo na fase de maior encobrimento, resta ainda uma parte não eclipsada.

Os eclipses totais do Sol só são observados em uma pequena faixa. Fora dessa região os eclipses aparecerão, no seu auge, ainda parcialmente. Dependendo da posição do observador, ele pode mesmo não presenciar o eclipse, embora com o Sol acima do horizonte. Já com o eclipse lunar isso não acontece. Como ele ocorre por causa da sombra da Terra, independe da posição do observador; basta que a Lua esteja acima do horizonte para ele ser visível.

Parte 2

Força gravitacional

Revolução da Terra (Revista Galileu, dez 2004)

Lembra quando sua professora no primário disse que a Lua girava em torno da Terra? Pois bem ela foi ao mínimo imprecisa. Na verdade, Lua e Terra um sistema que gira em torno de um ponto intermediário chamado centro de massa. Para completar uma volta em torno deste ponto o sistema demora, 27 dias 7 horas e 43 minutos. Tudo seria harmonioso se a distância entre os dois corpos não oscilasse. Essa alteração desencadeia uma série de anomalias (precessão e nutação) na rotação da Terra.



Figura 12- Movimento da Terra

Fenômeno de precessão

Imagine um pião rodando de maneira bamboleante. É mais ou menos o que acontece com a Terra, ela está sujeita a forças gravitacionais de Sol e Lua. Isso faz que seu eixo se desloque em torno de um ponto central. Esse movimento dura cerca de 26 000 anos e “entorta” tanto o planeta que, daqui a 12 000 anos, o lugar de estrela sobre o Pólo norte deixará de ser da estrela Ursa maior e passará a ser ocupado pela estrela Lirae.

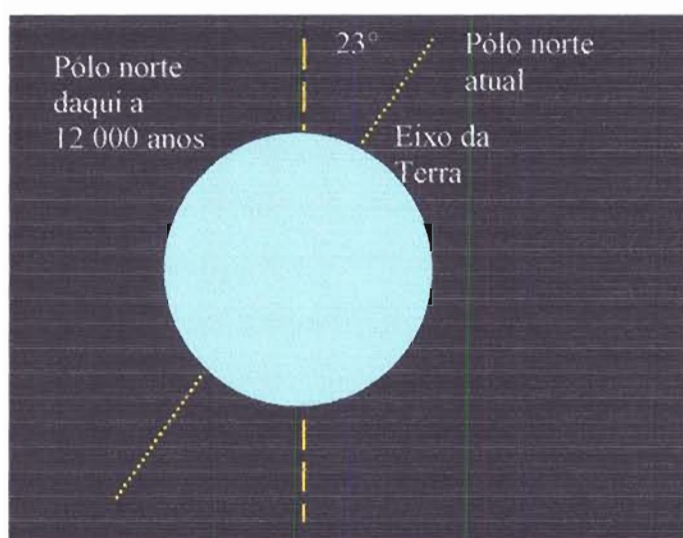


Figura 13- Precessão da Terra

Marés ([www. Rio.gov.br/planetario](http://www.Rio.gov.br/planetario))

As marés consistem do aumento periódico do nível dos oceanos. São causadas pelas forças gravitacionais do Sol e, principalmente, da Lua. O Sol tem muito mais massa que a Lua, mas em compensação está muito mais distante; daí sua influência sobre a maré ser 1/3 da influência da Lua.

De modo simplificado, a maré ocorre porque o nível dos oceanos se eleva um pouco na "direção" voltada para a Lua. À parte "oposta" também sofre uma elevação por estar mais afastada da Lua. Com a soma dos movimentos de rotação da Terra e a revolução da Lua em torno da Terra, em 24h e 50min podemos ter duas marés altas e duas baixas. A altura das marés depende de vários fatores, sendo o principal a fase da Lua. As fases nova e cheia são mais intensas porque as forças gravitacionais do Sol e da Lua se somam por estarem estes dois corpos praticamente alinhados. As marés são então chamadas de vivas. Já nas fases crescente e minguante ocorrem as marés mortas, por serem as diferenças entre a alta e a baixa pequenas e às vezes inexistentes.

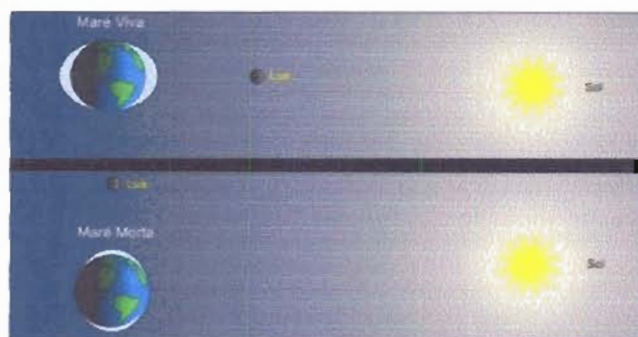


Figura 14- as marés

A intensidade das marés é influenciada também pelo perfil do litoral e pelas correntes oceânicas. As amplitudes das marés têm em geral 1,5 metro, mas, em alguns lugares (baía de Fundy, no Canadá), podem chegar a 15 metros! As amplitudes mais altas do Brasil ocorrem no Maranhão, com cerca de 5 metros.

A atmosfera e os continentes também apresentam efeitos de maré. Para efeitos práticos, porém, a maré nos continentes pode ser considerada nula.

Campos gravitacionais

* Baixos

Imponderabilidade (www.saladefisica.com.br)

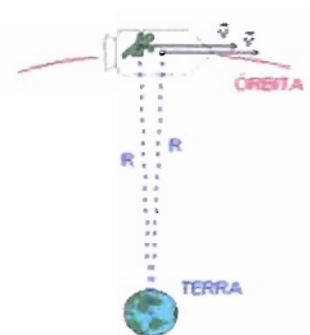
Consideremos, em um referencial inercial fixo ao centro da Terra, um objeto (de massa m) em uma órbita circular de raio R ao redor da Terra (de massa M). Sendo a órbita circular, a força gravitacional da Terra sobre o objeto (a força peso do objeto) é a força centrípeta. Assim:

$$GmM / R^2 = mv^2 / R$$

onde G representa a constante universal da gravitação. O raio da órbita fica dado por:

$$R = GM / v^2$$

O raio da órbita depende de G , uma constante universal, de M , a massa da Terra, e de v , o módulo da velocidade linear orbital do objeto. O raio da órbita não depende da massa do objeto. Assim, por exemplo, um astronauta dentro de uma nave espacial e a



própria nave, tendo ambos a mesma velocidade linear orbital, têm órbitas com o mesmo raio. Então, astronauta e nave ficam em repouso um em relação ao outro e o astronauta parece flutuar dentro da nave. Este fenômeno é o que se chama de imponderabilidade e não significa falta de gravidade ou falta de peso, já que são justamente os pesos dos objetos (astronauta e nave, neste caso) que fazem o papel de forças centrípetas para garantir que as respectivas órbitas sejam circulares.

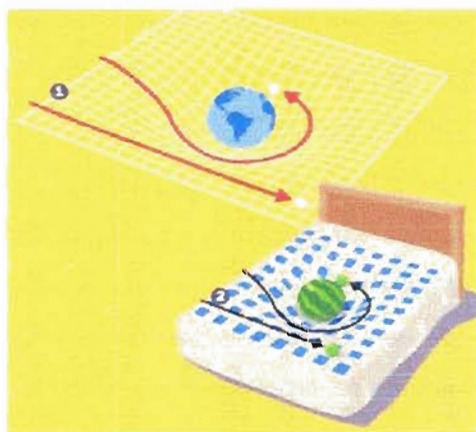


Figura 15- Astronautas no estado de Imponderabilidade

* Intensos

Buraco negro (Revista Galileu, dez de 2004)

Um Buraco Negro é o resto de uma Estrela de grande massa. Oriundo de uma grande explosão denominada Supernova. Se o núcleo restante for 3 vezes maior que o Sol este núcleo restante, irá se contrair até se transformar num Buraco Negro: algo tão denso que a gravidade atrai inclusive a luz. Por definição os Buracos Negros são invisíveis, apesar de se crê que está rodeado por um disco giratório de acreção, composto pela matéria que é atraída para o buraco negro. Se o Buraco Negro se formar perto de outra Estrela, pode sugar o gás dessa Estrela roubando-lhe massa.



O princípio da equivalência permitiu a Einstein concluir que uma maçã em queda também está, de certa forma, num movimento "natural", como se estivesse vagando pelo espaço vazio. A diferença é que, perto de corpos massivos como a Terra, espaço e tempo são "curvos". O que isso significa? Que a gravidade não é uma força

Figura 16- Deformação do espaço-tempo

misteriosa, mas o efeito da curvatura do espaço-tempo sobre a matéria. Essa distorção faz uma maçã desviar de sua trajetória "parada" e acelerar em direção a Terra.

1- A ilustração mostra uma representação incompleta dessa curvatura, em duas dimensões. A Lua fica na órbita da Terra porque não consegue sair da "depressão" que o planeta cria no espaço-tempo. Em outras palavras, a presença de matéria altera o espaço-tempo à sua volta. Um corpo que passa longe da curvatura não é capturado.

2- Uma analogia à curvatura do espaço-tempo pode ser criada num experimento caseiro. Colocando uma melancia (Terra) sobre uma cama, notamos que ela causa uma depressão no colchão (espaço-tempo). Se jogarmos um limão rolando em linha reta pela borda da cama, o que acontecerá? Se sua trajetória passar longe da área de depressão, ele segue em linha reta. Mas se o limão passar próximo o suficiente dessa área, ele tenderá a fazer uma curva, como se estivesse entrando na "órbita" da melancia.

Uma das principais previsões que Einstein deduziu a partir de sua Teoria da Relatividade Geral é a de que a luz também estaria sujeita aos efeitos da gravidade. Acredita-se que o próprio espaço pode ser encurvado, a luz teria de acompanhar essa curvatura, certo? Foi exatamente isso que um grupo de físicos liderados pelo inglês Arthur Eddington descobriu em 1919. Ele percebeu que estrelas cuja luz passava próxima ao Sol pareciam estar no lugar errado.



Figura 17: Desvio da Luz devido a campos gravitacionais intensos.

A curvatura espaço-temporal intensa criada pela presença do Sol faz um raio luminoso desviar de sua trajetória retilínea, dando-nos a impressão de que a luz veio de outra direção. A gravidade também oferece efeito sobre a luz.

3- Mais um pouco de força, e colocamos a maçã em órbita! Ela permanecerá eternamente "caindo", mas nunca vai se esborrachar no chão, porque a curvatura de sua queda acompanha a da Terra.

ANEXO 6

Lista de exercícios (www.saladefisica.com.br)

1) Um satélite X em órbita circular em torno de um planeta P. O seu período de translação é de 32 dias e seu raio de órbita é R. Um segundo satélite Y, também em órbita circular do planeta P, tem um período de translação J e raio de órbita igual a 4R. Determine o período de translação J do satélite Y.

2) Determine a intensidade da força de atração gravitacional entre duas esferas de massas idênticas (10 kg) que estão separadas por 12m. Considere a constante gravitacional como

$$G = 6 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2.$$

3) Considere as seguintes informações:

a) A aceleração da gravidade na superfície da Terra tem intensidade igual a 10 m/s^2 .

b) a massa da Lua é aproximadamente 1/100 da massa da Terra

c) O raio da Lua é $\frac{1}{4}$ do raio da Terra

Utilizando os dados apresentados, calcule o valor aproximado da gravidade na superfície lunar, não considere os efeitos da rotação da Terra e da Lua.

4) A constante de gravitação universal vale, $6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$. Supondo-se que a Terra seja uma esfera homogênea de raio 6370 km e massa $5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$. Calcule:

a) Aceleração da gravidade na superfície da Terra.

b) O Peso de uma nave de 120 toneladas que esteja a 250 km de altitude.

5) O raio da órbita média de Plutão é de $6 \times 10^9 \text{ km}$ e da Terra $1 \times 10^8 \text{ km}$. Quanta vez Plutão está mais distante do Sol do que a Terra? Como o Sol é visto de Plutão.

6) Um aluno ao explicar porque um astronauta não fica flutuando na Lua, utilizou o seguinte argumento: "Na Lua não há gravidade, pois não existe atmosfera. O que prende o astronauta ao solo lunar é o seu próprio peso". Você concorda ou não? Justifique

7) Analise as afirmativas de sobre um satélite em órbita circular em torno da Terra, dizendo se são falsas(F) ou verdadeiras(V):

- a) Um satélite em órbita tem continuamente uma força empurrando-o para frente.
- b) Não existe a força gravitacional atuando sobre ele.
- c) Na mesma órbita, dois satélites podem ter velocidades diferentes.
- d) Quanto mais afastados da Terra será, menor será a velocidade de um satélite.
- e) E) quanto mais perto da Terra, maior será o período do satélite.

ANEXO 7

Notas de aula: A Teoria da Gravitação

Parte 1

A evolução dos modelos cosmológicos até Kepler

O sistema solar:

Quais são os nomes dos planetas do sistema solar? Qual a ordem deles em relação ao Sol?



Figura 18- os planetas do Sistema Solar

No imenso conjunto de estrelas que forma nossa galáxia, existe uma estrela-o Sol, que não se destaca pelas dimensões e características físicas, mas por que existe um pequeno planeta chamado Terra orbitando ao seu redor, que abriga as únicas formas de vida conhecidas até agora. Este planeta não está só, mas constitui uma ínfima parte de um sistema formado por dezenas e milhares de corpos celestes, com dimensões variando entre poucos metros e milhares de quilômetros, todos orbitando ao redor do Sol. Este sistema é chamado de Sistema Solar e é composto pelo Sol, Planetas e seus Satélites, Asteróides, Cometas e Meteoróides.

Nas linhas que seguem abaixo será contado um pouco de como a humanidade adquiriu esse conhecimento do nosso Universo a partir do nosso entorno imediato.

Geocentrismo x Heliocentrismo

Teoria Geocêntrica

O Sistema Geocêntrico durante muito tempo vigorou como o modelo que melhor descrevia o movimento dos corpos celestes. Não era um modelo errado, mas uma mera questão de sistema de referência, diz Alvarenga e Máximo.

Os gregos foram os primeiros a elaborar um modelo baseado em matemática para explicar o movimento dos corpos celestes (O Sol, a Lua, as Estrelas e os já conhecidos

planetas). Outras civilizações tinham suas explicações sobre os movimentos celestes observados, entretanto eram vestidos de uma “indumentária mitológica” (Nicolson, 1987), que não interessa a este trabalho.

O Modelo Geocêntrico teve algumas fases. A primeira se deve a Eudoxo, que propôs que a Terra ocupa-se o centro deste modelo e o Sol, a Lua, os planetas e as estrelas estavam incrustados em esferas que giravam ao seu redor.

O modelo era impreciso e durante séculos tentou-se torná-lo mais preciso, entretanto à medida que isto ia acontecendo o modelo se tornava muito mais complexo.

Aristóteles encampou as idéias de Eudoxo, provou que a Terra era esférica ao observar a sombra da Terra sobre a Lua e com isto explicava o desaparecimento das embarcações no horizonte. Aristóteles criou não apenas um modelo, mas uma teoria que explicava o Universo.

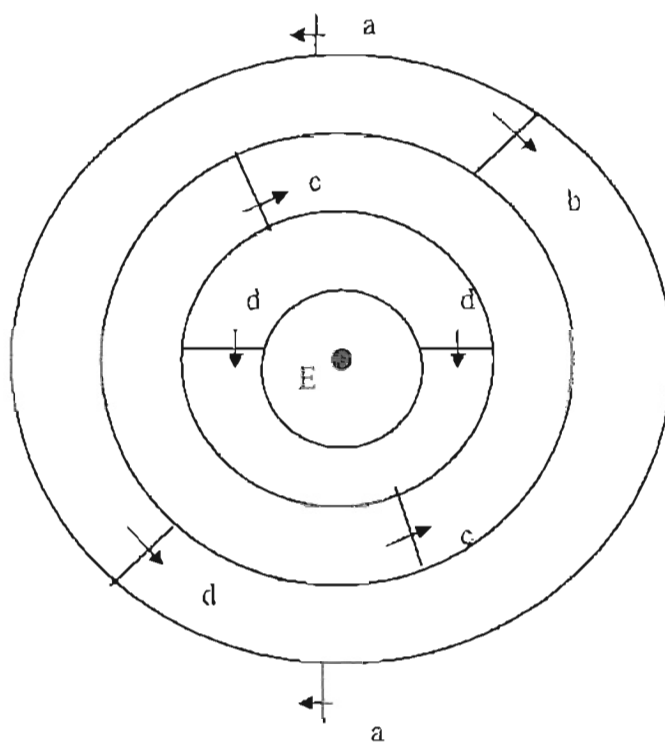


Figura 19: O modelo de Eudoxo

Esta teoria falava sobre a ordenação do mundo, sobre sua constituição e sobre o movimento dos corpos. Para Aristóteles o Universo era dividido em dois mundos: um chamado de sublunar e outro chamado de mundo celeste.

O mundo sub-lunar era o compreendido entre a Terra e a Lua, considerava este mundo como mutável e imperfeito. O mundo celeste era considerado perfeito e eterno e ia desde a esfera da Lua até a das estrelas. (Figura 19)

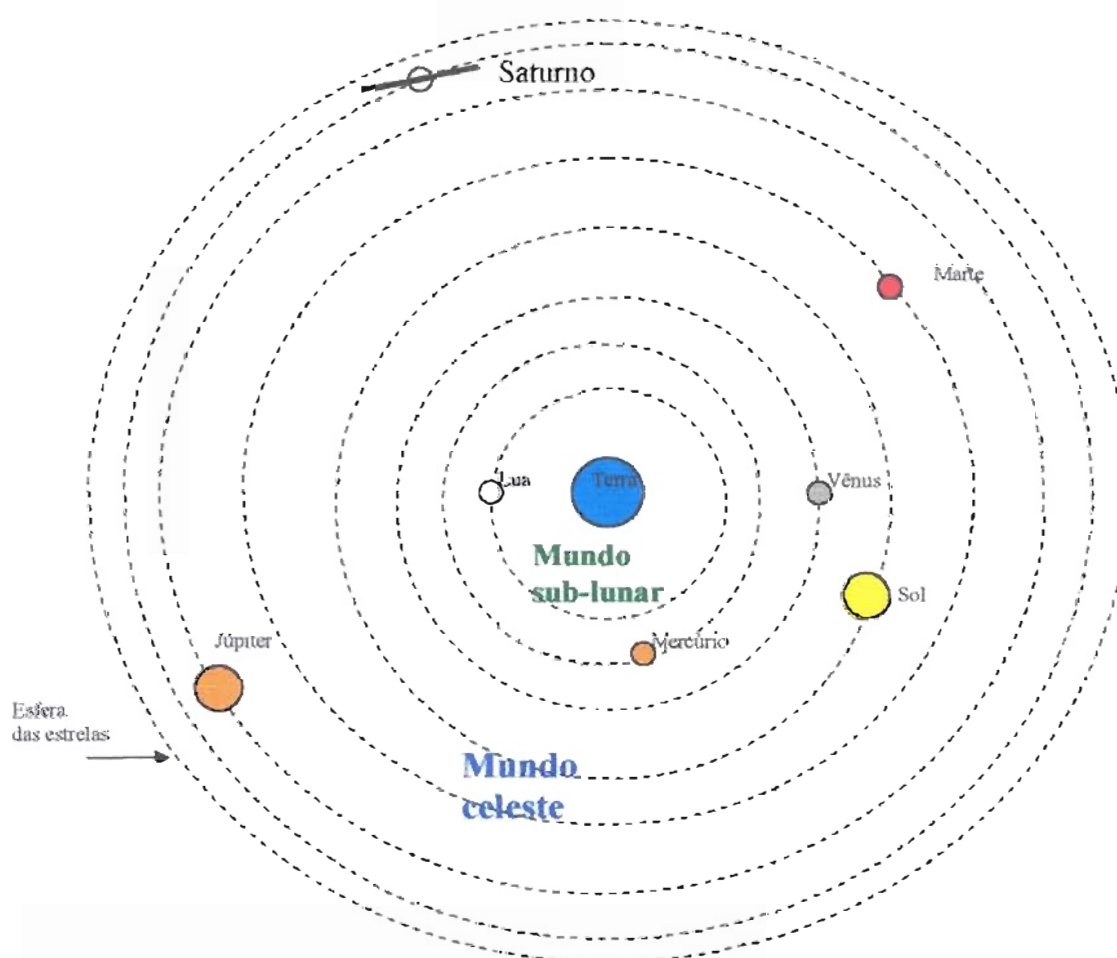


Figura 20: O Sistema Geocêntrico

Este Universo era composto por 4 elementos (terra, água, fogo e ar) que compunha o mundo sublunar e do éter que compunha o mundo celeste, que para os gregos deveria ser uma substância perfeita e incorruptível. No mundo sublunar existe uma ordem natural que explicava o movimento natural dos corpos. Nesta ordenação embaixo ficava o elemento terra, depois a água, seguidos do ar e do fogo. Nesta visão de mundo, não há lugar para o vácuo. O Universo é “cheio”, e a impossibilidade do vácuo estava diretamente ligada à questão dos movimentos¹.

1. A teoria do ímpeto explicava que o movimento dos corpos só existiria, enquanto uma força estivesse atuando sobre o corpo. Quando a força se esgotasse, o corpo cessaria seu movimento procurando o seu lugar natural.

Aristóteles classificava os movimentos em dois tipos: natural e violento. A teoria de Aristóteles serviu de base para o aprimoramento do modelo proposto por Eudoxo. Claudius Ptolomeu abandonou a idéia das esferas concêntricas e adotou que a trajetória dos corpos celestes deveria ser circular e uniforme. Criou o conceito de epiciclos (alças planetárias) para explicar a aparente retrocidade dos planetas no céu, assim como um outro artifício, a equant! Com esta reformulação as medidas foram ficando mais precisas e se ajustavam, de forma razoável, com o modelo.

O modelo planetário de Ptolomeu e a visão aristotélica do mundo deram origens à **Teoria Geocêntrica**, que sobreviveu há 13 séculos, *esta visão se adaptava bem a filosofia religiosa da idade média.* (Nicolson, 1983)

O Modelo Geocêntrico é de fácil aceitação por partes dos alunos já que a idéia de movimento se resume a usar a Terra como referência. Afinal, o que se vê todo dia são os movimentos aparentes da Lua, do Sol e das estrelas. Fica fácil para o aluno entender por que tal argumentação perdurou durante tanto tempo (isso sem falar das limitações tecnológicas, religiosas e filosóficas da época).

Teoria Heliocêntrica

Por razões históricas o pensamento grego ficou esquecido e desconhecido por dezenas de séculos. Entretanto, o modelo proposto por Ptolomeu chegou até a Europa através do livro *Almagesto*, publicado pelos árabes. Nicolson (p.29,1983), discute esta passagem da seguinte forma: *“ O sistema Ptolomaico do Universo e a visão aristotélica de força e movimento, nos quais a força era necessária para manter um movimento e os objetos materiais eram constituídos de elementos que buscavam seus lugares naturais, foram transmitidos pelo Oriente Médio e da Europa. Embora a visão do mundo que eles proporcionavam fosse bela e consistente, divergia da experiência da observação sob muitos aspectos. Não obstante, permaneceu inalterada por mais de 1000 anos: este foi o alcance da influência dos gregos. ”*

Durante todos estes séculos a Teoria geocêntrica sofreu objeções, devido a sua imprecisão que foi gerando uns modelos cada vez mais complexos, que acabou permitindo que outras pessoas propusessem modelos mais simples. Tais como, um Modelo Heliocêntrico que feriam as crenças da época.

A idéia de uma Teoria Heliocêntrica existe desde a época dos gregos. Os pitagóricos já haviam dito que no centro do Universo deveria ter fogo (não necessariamente o Sol). Outros, ao longo dos séculos que o Modelo Geocêntrico vigorou, esboçaram idéias mais simples para explicar o Universo. Mas sempre esbarravam nos fortes argumentos da teoria planetária vigente.

Em meados do século XVI, Copérnico publicou as bases de um novo sistema planetário. Onde a Terra deixava de ser o centro do Universo, cedendo seu posto para o Sol. Este modelo era bem mais simples que o antigo, dispensava os artificios do outro modelo (Epiciclo e as Equants).

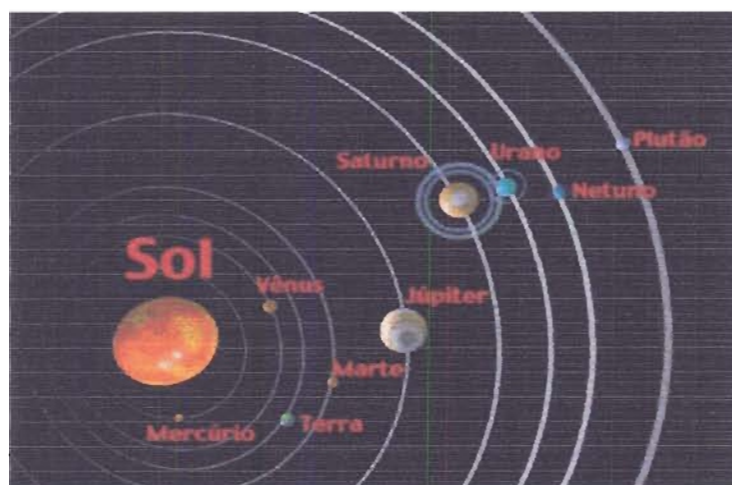


Figura 21- Modelo heliocêntrico proposto por Copérnico

A proposta de Copérnico de um sistema planetário sofreu as mesmas objeções da época dos gregos. Uma delas era a questão da paralaxe, imaginada por Aristóteles no caso de um Sistema Heliocêntrico (figura 4), que Copérnico explicou, dizendo: que a esfera das estrelas deveria estar muito longe comparada com a distância média Terra-Sol. O que dificultaria medir esta paralaxe. Usando as palavras de Copérnico. (apud Nicolson, p.34)

"A distância Terra ao Sol nada é em relação a altura do firmamento".

O tratado de Copérnico não sofreu muitas pressões da igreja católica na época. O prefácio do livro afirmava que a Terra foi posta a se movimentar apenas por artifício matemático que simplificavam e aperfeiçoavam o cálculo das posições dos corpos celestes. Entretanto, apenas os protestantes sentiram-se mais fortemente atingidos com a proposta do modelo, que ia contra as escrituras.

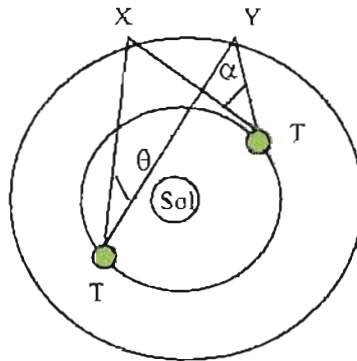


Figura 22: A Paralaxe

Segundo Aristóteles num sistema heliocêntrico a distância angular entre duas estrelas observadas em posições diferentes na órbita da Terra deveria ser diferente, o que não se percebe. Copérnico contra-argumenta que isso se deve a distância Terra-Sol se muito pequena em relação a esfera das estrelas

Após a publicação da teoria proposta por Copérnico, a idéia de um Universo Heliocêntrico e de uma Terra em movimento começou a se espalhar entre os estudiosos e foi bastante apoiada, segundo Nicolson (p. 34). Dentre os simpatizantes do copernicismo, o padre Giordano Bruno atraído pela idéia de um Universo infinito, acabou queimado pela inquisição, condenado por heresias. Em consequência disso a teoria de Copérnico, até então incólume, passou a ser cassada e colocada no índice dos livros proibidos pela igreja católica.

Da mesma forma que o Heliocentrismo ganhou adeptos, também ganhou opositores. O mais famoso deles Tycho Brahe, não aceitava a idéia de a Terra se mover. O maior astrônomo de seu tempo, Brahe propôs um modelo que misturava os dois modelos, o de Ptolomeu e Copérnico (figura 5). Entretanto o modelo não recebeu muito apoio.

Brahe deixou um legado de medidas precisas, que foram utilizadas por seus sucessores, em especial Johannes Kepler, seu discípulo. Kepler, como a maioria em sua época, acreditava num Sistema Geocêntrico. Utilizando os dados de seu mestre procurou determinar a órbita de Marte, segundo Nicolson, fez mais 70 tentativas utilizando os Modelos Geocêntricos existentes e tentando corrigi-los à medida que iam sendo testados.

Não obtendo êxito, atinou com a seguinte resposta: A órbita só pode ser uma elipse. Assim consegui acomodar os dados obtidos com um modelo.

Nicolson comenta que Kepler relutou muito a conclusão chegada, devido a sua crença num modelo geocêntrico.

Kepler era místico e antes de chegar às leis que derrubaram o Modelo Geocêntrico, desenvolveu um sistema planetário cujas órbitas eram sólidos geométricos fundamentais. O trabalho nada acrescentou a cosmologia da época, mas atraiu a atenção de Tycho Brahe que acabou convidando-o a trabalhar com ele.



Figura 23: Modelo de Bahe

As descobertas de Kepler provocaram o início de uma revolução do pensamento científico, que teve seu ponto máximo nos trabalhos de Newton. Kepler escreveu três leis planetárias que serão discutidas mais adiante, conhecidas como: As três leis de Kepler.

O fim da visão aristotélica do mundo.

Antes de prosseguir, é importante comentar para os alunos, como o modelo de 13 séculos foi substituído. A Teoria Geocêntrica era um misto de um sistema planetário, que chegou ao seu apogeu com Ptolomeu, fundamentado por uma mecânica aristotélica. A idéia de mundo para Aristóteles era dividida em dois mundos. Um dos mundos, o sublunar era considerado imperfeito e mutável e era composto pelos quatro elementos: terra, água, ar e fogo. Este era o mundo dos homens que era limitado pela esfera da Lua. O outro mundo é chamado de celeste e era considerado eterno e perfeito. Lugar perfeito para a morada dos Deuses.

Os gregos conheciam matemática, esta que por sua vez, influenciava seus pensamentos. Consideravam o círculo como a figura geométrica perfeita, conseqüentemente o movimento dos corpos celestes nos céus parecia obedecer a esta perfeição. Os movimentos destes corpos eram circulares como velocidade constante e o céu sempre lhes pareceram da mesma forma os quais lhe concederam o “status” de imutável.

A crença na Teoria Geocêntrica pode ser justificada pela observação direta de seus pressupostos, que parecia ser óbvia, atinando pelo senso comum. Qualquer outra suposição

que parecesse contrária, não resistia ao crivo de contra-argumentações que se sustentavam no cotidiano e na visão aristotélica do mundo.

Então, quais foram os motivos que fizeram a Teoria Geocêntrica ser demolida?

Em primeiro lugar, O complicado sistema planetário que foi sendo desenvolvido ao longo dos séculos. A necessidade de se criar vários artificios para acomodar as novas medidas astronômicas, que foram melhoradas ao longo dos séculos. Um segundo motivo foram às descobertas de Brahe e Galileu Galilei que abalaram as estruturas do Modelo Geocêntrico.

Tycho deixou um legado de medidas astronômicas precisas, como já foi mencionado anteriormente. Dentre as suas valiosas observações encontra-se a Supernova de 1572, uma estrela que subitamente apareceu na constelação de Cassiopéia, aumentando de brilho, até que atingira a intensidade do planeta Vênus e em seguida reduzindo-se após cerca de 16 meses. Este achado de Brahe poderia ter sido facilmente acomodado na Teoria Geocêntrica, como sendo um fenômeno ocorrido dentro do mundo sublunar. Entretanto, Brahe mediu a paralaxe da nova estrela e percebeu que ela estava para lá da esfera da Lua, ou seja, no perfeito e imutável mundo celeste.

Outro achado nas observações foi à descoberta de um cometa, que parecia estar em movimento ao redor do Sol e além da órbita de Vênus. O movimento deste cometa também contradizia a doutrina aristotélica. Contudo Tycho ainda acreditava numa Teoria Geocêntrica.

Galileu foi o maior defensor da Teoria Heliocêntrica, usando um telescópio foi capaz de enxergar um céu jamais visto antes e perceber que o mundo perfeito não era tão perfeito assim. Suas observações modificaram toda concepção que o homem tinha do cosmo, diz Nicolson. Dentre as descobertas pode se citar: O relevo da superfície lunar; Estrelas de fraco brilho, impossíveis de serem observadas a olho nu; Os planetas aumentavam de tamanho ao serem observados através das lentes, enquanto que as estrelas não; As manchas solares permitiram-lhe concluir que o Sol tinha um movimento de rotação; As fases de Vênus; e a mais importante para a Teoria Heliocêntrica, Foi descoberta das luas de Júpiter.

As descobertas de Galileu não são provas concretas da Teoria Heliocêntrica, mas todas elas contradiziam os fundamentos do Geocentrismo e muito ajudaram a ruir as bases desta teoria.

Qual a diferença entre o Heliocentrismo de Kepler para o de Copérnico?

O pensamento de Copérnico ainda estava baseado na idéia de perfeição e simetria. As órbitas descritas pelos planetas eram circulares e se movimentavam de forma uniforme. Embora o modelo fosse simples, não era tão mais preciso do que o vigente na época. Este Modelo Heliocêntrico se assemelhava ao de Eudoxo, já que todas as órbitas eram de círculos concêntricos onde uma das diferenças estava no centro do sistema planetário, que era ocupado pelo Sol.

Segundo Costa (Astronomia - uma visão geral do Universo. p.229,2000):

“Copérnico dispendeu muitos anos de sua vida tentando calcular as órbitas dos planetas de acordo com seu sistema, utilizando-se das tabelas alfonsinas, uma compilação de dados sobre as posições dos planetas. Este empreendimento fracassou pela simples razão das órbitas serem elípticas e não circulares”.

O Sistema Heliocêntrico de Kepler “destituíu” os dois conceitos chaves da Teoria Copernicana. Assumindo que as órbitas dos planetas deveriam ser elípticas e que a velocidade dos planetas não era uniforme ao longo da órbita. Estas descobertas de Kepler são conhecidas como as **Leis de Kepler para os movimentos planetários**. Na próxima seção estas leis são apresentadas, discutidas e exemplificadas.

As leis de Kepler

As descobertas empíricas de Kepler foram publicadas em trabalhos compreendidos entre os anos de 1609 e 1621. Estes trabalhos foram de grande impacto e podem ser mais bem explicados segundo Nicolson (p.41,1983)

“... entre a grande massa de informações úteis e especulações confusas estavam as três importantes leis. Chamada hoje de As leis de Kepler para os movimentos planetários”.

...As idéias revolucionárias de Kepler não foram imediatamente aceitas pelos defensores da teoria de Copérnico. Galileu, por exemplo, ainda estava às voltas com movimentos circulares e parece nunca ter aceitado a idéia do movimento elíptico. Entretanto, a simplicidade do sistema e seu sucesso no cálculo das posições planetárias asseguram que, à medida que o século XVII avança, se tornasse mais e mais amplamente aceito pela comunidade científica.

Foi assim que Kepler encerrou para mais de 2000 anos de adesão dogmática à crença da perfeição do firmamento e com a idéia de que o movimento circular perfeito era o único possível para os mundos celestiais. Além disso, a Terra finalmente foi destronada de sua posição central no esquema do universo. A física, a astronomia e a filosofia jamais poderiam ser as mesmas.

Kepler demonstrou a maneira pela qual os planetas se movem, mas por que os planetas se movem desta maneira? Que força motivadora poderia manter os planetas nesta órbita e fazendo-o aumentar e diminuir de velocidade ao longo desta órbita? Coube a Newton responder a estas perguntas ao fundamentar o que se chama hoje de Mecânica Celeste.

Primeira lei de Kepler:

Qualquer planeta gira em torno do Sol, descrevendo uma forma elíptica da qual o Sol ocupa um dos focos.

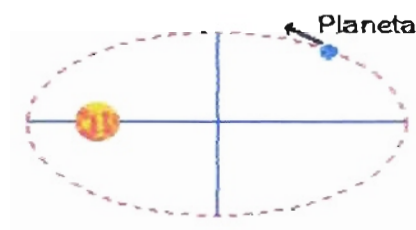


Figura 24: representação da 1ª lei de Kepler.

Segunda lei de Kepler:

A reta que une um planeta ao Sol "varre" áreas iguais em tempos iguais.

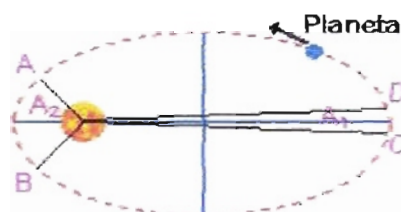


Figura 25: representação da 2ª lei de Kepler

Nestes desenhos exageramos a excentricidade das elipses para facilitar a compreensão. Da figura acima se pode observar que:

- As áreas A_1 e A_2 são iguais considerando que os tempos para o planeta ir de A a B e de C a D são iguais.

- O planeta se move com maior velocidade perto do Sol (arco AB) do que quando está mais afastado do Sol (arco CD). Isto acontece porque o planeta, estando mais próximo do Sol, sofre uma força de atração maior (comprovado mais tarde por Newton).

Terceira lei de Kepler:

Os quadrados dos períodos de revolução dos planetas são proporcionais aos cubos dos raios de suas órbitas.

$$T^2 / R^3 = K \text{ (constante)}$$

Onde:

T: período de revolução do planeta

R: raio da órbita do planeta

A terceira lei de Kepler nos diz que quanto mais afastado estiver o planeta do Sol, maior o tempo que leva para dar uma volta completa (maior o período), e vice-versa.

Só para você ter uma idéia: "A Terra leva um ano para dar uma volta ao redor do Sol e o raio de sua órbita é igual a 1,000 u.a. (uma unidade astronômica), enquanto Plutão, que é o planeta mais afastado do Sol, leva 248 anos para dar uma volta completa e o raio da sua órbita é igual a 39,4 u.a."

Parte 2

A lei da Gravitação Universal

Os trabalhos de Kepler puseram fim a uma maneira de entender o mundo, que é o Geocentrismo. Ao retirar a Terra do centro do Universo e descobrir que as órbitas planetárias eram elípticas, Kepler construiu o caminho para uma nova concepção do universo que culminaram com os trabalhos de Newton. Nesta parte são discutidos os trabalhos de Newton e as conseqüências deste trabalho para o mundo.

As leis de Kepler foram bem acolhidas na época de sua divulgação, entretanto não conseguia explicar as causas físicas dos movimentos observados nos céus, diz Braga (p.15,1999). Os trabalhos de Kepler e Galileu trouxeram algumas indagações, tais como:

O que faz com que as órbitas planetárias sejam elípticas?

O que provoca a queda dos corpos?

Qual a ligação entre o movimento dos planetas e o dos corpos próximos à superfície da Terra?

A Europa do século XVII sofrera bastantes mudanças, no que diz respeito a questões religiosas. Os dogmas religiosos estavam sendo discutidos e na Inglaterra acontecia o movimento de reforma. A igreja reformada inglesa via a ciência emergente com bons olhos, diz Braga (p.19, 199), este ambiente favorecia vários grupos de estudiosos a se reunirem para discutirem as relações entre o homem e o Universo. Vivendo nesse ambiente de debate e transformação, Newton dedicou sua vida à busca de um entendimento completo do Universo.

Newton, para responder as perguntas acima observou que os planetas deviam estar sujeitos a uma força centrípeta, pois não sendo assim, suas trajetórias não seriam curvas (fig 1). Logo Newton concluiu que essa força era devida à atração do Sol sobre os planetas, deduzindo as Leis de Kepler, que antes disso eram baseadas apenas em observações. A Lei da Gravitação Universal é uma expressão matemática baseada na força de atração do Sol nos planetas cujo enunciado é:

"Dois corpos quaisquer se atraem com uma força proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles."

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

Onde:

F: força de atração

G: constante de gravitação universal

m_1 e m_2 : massas dos corpos estudados

d: distância entre os corpos

Esta lei estabelece duas relações importantes:

- Quanto maior a distância entre dois corpos, menor a força de atração, e vice-versa.
- Quanto maior as massas dos corpos, maior a força de atração, e vice-versa.

Da Fig.26 temos que a força F_1 de atração que o Sol exerce sobre o planeta é maior que F_2 porque a distância que o planeta está do Sol na posição 1 é menor que a distância na posição 2.

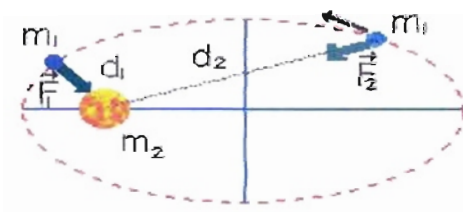


Figura 26- A força de atração F_1 é maior do que a força F_2

A relação com a aceleração da gravidade

Supomos agora que o corpo de massa M seja a Terra. E o corpo de massa m se encontra sobre a sua superfície.

Desde que a Terra é muito grande em relação ao corpo, podemos considerar a distância entre os mesmos como o próprio raio da Terra R . Verifica-se que qualquer corpo próximo à superfície terrestre sofre uma aceleração constante g (aceleração da gravidade, aproximadamente $9,81 \text{ m/s}^2$). Ou seja, o seu peso P é igual a mg . E deverá ser igual à força dada pela fórmula anterior.

Assim:

$$mg = k M m / R^2 \quad \text{Ou} \quad M = g R^2 / k$$

Portanto, conhecendo-se o raio da Terra, pode-se determinar a sua massa.

Campo Gravitacional

A Terra, assim como todos os corpos celestes, exercem uma força de atração gravitacional sobre os corpos localizados em sua proximidade. Desprezando os efeitos rotacionais do nosso planeta, podemos assimilar o campo gravitacional do seguinte modo (Figura 3):

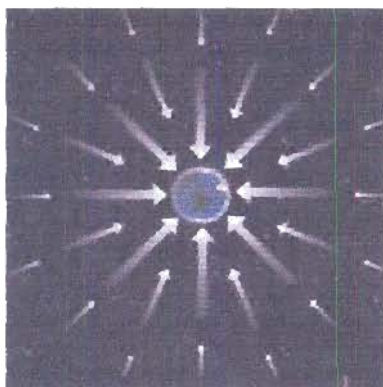


Figura 27- Campo gravitacional

A intensidade do campo gravitacional pode ser medida pela aceleração gravitacional adquirida por um corpo de prova no interior do campo. Sua medida é feita utilizando-se da Lei de Newton, em que a força gravitacional exercida pelo planeta é o próprio peso do corpo na posição em que se encontra dentro do campo gravitacional.

Seja um corpo de massa m , dentro do campo gravitacional da Terra, cuja massa chamaremos M e seu raio, R .

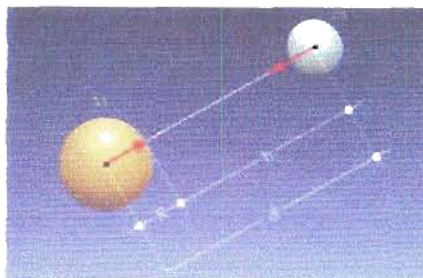


Figura 28: Lei da Gravitação Uni versal

Como o peso do corpo de massa m é a força gravitacional com que ele é atraído pela Terra, podemos escrever a fórmula:

$$g = G \frac{M}{(R + b)^2}$$

A expressão obtida permite a determinação da intensidade do campo gravitacional adquirida pelo corpo numa certa posição, afastado da superfície da Terra.

Em se tratando da determinação do campo gravitacional da superfície da Terra, basta fazemos $h=0$. A expressão obtida fica:

$$g_0 = G \cdot \frac{M}{R^2}$$

Campo Gravitacional em função da altura

Na superfície da Terra, o campo gravitacional é:

$$g_0 = G \frac{M}{R^2}$$

A certa altura, como vimos, o campo será:

$$g = G \frac{M}{(R + h)^2}$$

O sucesso da teoria newtoniana não está apenas na forma como explica os corpos em queda livre e os movimentos planetários, mas em outros aspectos, por exemplo:

1- a explicação de como ocorrem as marés nos oceanos; devido a rotação da Terra a sua forma não era esférica, mas sim um elipsóide e este fato acabava contribuindo para a ocorrência do movimento de precessão da própria Terra;

2-atravs da gravitaço Newtoniana pde-se concluir que os cometas poderiam ter rbitas cnicas.

3-Explicava alguns dificeis problemas como as perturbaes nas rbitas planetrias que possibilitaram a descoberta de novos planetas.

Segundo Nicholson (1983), A gravitaço newtoniana pois fim a idia que as leis que explicavam o movimento do cus eram diferentes das que explicavam os movimentos terrestre. Com isso estavam abertas as portas para o desenvolvimento cientifico baseado na idia de que as leis da natureza srio universais.

BIBLIOGRAFIA:

- MOREIRA, M. *Uma abordagem Cognitivista de aprendizagem. pré-print, 1980.*
- MÁXIMO, A. ALVARENGA, B. *Curso de Física vol.1.* Spicione, 2000.
- MÁXIMO, A. ALVARENGA, B. *Física de olho no mundo do trabalho.* Spicione, 2005.
- GEURRA, A. REIS, J. FREITAS, J. BRAGA, M. *Galileu e o nascimento da ciência moderna.* Atual, 1997.
- GEURRA, A. REIS, J. FREITAS, J. BRAGA, M. *Newton e o triunfo do mecanismo.* Atual, 1999.
- NICOLSON, I. *Gravidade, Buracos Negros e o Universo.* Francisco Alves, 1983.
- GUIMARÃES. A. FONTE BOA, M. *Física para o 2º grau.* Editora Habra, 1997.
- FRIAÇA, DAL PINO, SODRÉ JR. *Astronomia: Uma visão geral do Universo.* Edusp, 2000.
- Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN'S), 1997.
- GASPAR. A. *Física-Mecânica, vol.1.* Editora Ática, 2000.
- RAMOS, R. BONJORNO, W. *Física completa.* FTD, 2004.
- GUALTER e ANDRÉ. *Física.* Editora Saraiva, 2001.

Internet

- www.rio.br/planetario
- www.educar.sp.usp.br
- www.feiradeciencias.com.br
- www.saladefisica.com.br
- www.cienciahoje.com.br