

TEXTOS PARA O ENEM

TEXTO 5 - DE ARISTÓTELES A ISAAC NEWTON

O pensamento de Aristóteles:

"Sê senhor da tua vontade e escravo da tua consciência."

"O homem prudente não diz tudo quanto pensa, mas pensa tudo quanto diz."

"A dúvida é o princípio da sabedoria."

"O ignorante afirma, o sábio duvida, o sensato reflete."

"A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces."



1 – ARISTÓTELES (séc III a.C.)

O auge da filosofia grega ocorreu com Aristóteles, nascido em 384 a.C. Estudou durante 20 anos com Platão, sendo o primeiro filósofo a apresentar um sistema compreensível do mundo. Aristóteles buscou, a partir de poucas suposições, explicar racionalmente todos os fenômenos físicos conhecidos até então. Para ele, toda a matéria era constituída de combinações dos quatro elementos propostos por Empédocles: terra, água, ar e fogo.

Para nós, o mais importante é notar como Aristóteles explicava o movimento. Por outro lado, esse filósofo concebia dois “mundos” separados, regidos por diferentes leis.

“Ele considerava o cosmos dividido em duas regiões qualitativamente diferentes, governadas por leis diferentes. Para ele o Universo era uma grande esfera, dividida em uma região superior e uma região inferior. A região inferior, chamada de terrestre, ou sublunar, ia até a Lua. Essa região era caracterizada por nascimento, morte e mudanças de todos os tipos. Além da Lua estava a região celeste. A física celeste e a física terrestre eram ambas parte da filosofia natural, mas eram regidas por leis diferentes. A região terrestre, por sua vez, era constituída de quatro esferas concêntricas, cada uma associada a um dos elementos (terra, água, ar e fogo). A terra, o mais pesado dos elementos, estava no centro, a água sobre a terra, o ar em volta da água e finalmente o fogo. O equilíbrio final no universo aristotélico, caso os elementos não se misturassem, seria uma Terra esférica circundada por camadas esféricas concêntricas de água, ar e fogo. Este seria, no entanto, um universo estático, onde não haveria movimento. As locomoções típicas dos elementos (por exemplo, o fogo ou a terra) mostram não somente que lugar é algo, mas que exerce também uma influência. Cada objeto se move para seu próprio lugar, se não é impedido de assim o fazer.

1.1 – OS MAIS PESADOS CAEM MAIS RÁPIDO

Como cada elemento tinha um lugar natural, Aristóteles associou a cada um deles as noções de pesado e leve, relacionadas, por sua vez, com as direções de ‘para cima’ e ‘para baixo’. A natureza de tais elementos exigia, assim, que eles se movessem em linhas retas: a terra para baixo, o fogo para cima. A terra é pesada, o fogo, leve, os outros elementos são intermediários. Um objeto composto é pesado ou leve dependendo da proporção dos diferentes elementos que o constituem. O movimento natural desse corpo será o movimento natural do elemento dominante.”

Para Aristóteles, todo elemento tinha um lugar natural, de forma que a terra deve ficar naturalmente abaixo da água, que deve ficar abaixo do ar, que deve ficar abaixo do fogo. Assim, os objetos se movimentam naturalmente, buscando o seu devido lugar. Por exemplo, se tentar posicionar um objeto do elemento terra, uma pedra, sobre o elemento ar, ele tenderá a cair, buscando seu lugar natural. Já a presença de uma bolha de ar no interior de um líquido, segundo Aristóteles, teria sua ascensão explicada pelo fato de o ar buscar seu lugar natural acima do elemento água. Assim, a gravidade de Aristóteles era descrita a partir da “busca” pelo lugar natural dos elementos.

1.2 – SEM FORÇA, NÃO HÁ MOVIMENTO

Por outro lado, o movimento era chamado “violento” quando ocorria no sentido contrário ao natural. Por exemplo, quando arremessamos uma pedra para cima. Em relação ao “movimento violento”, para Aristóteles, tudo que está em movimento deve ser movido por alguma outra coisa, porque, caso o próprio objeto não tenha em si a causa do movimento, deve ser movido por algo que não seja ele mesmo.

O movimento sempre envolve um meio resistivo, tal como ar ou água. Ele acreditava ser impossível a existência de um vácuo e, portanto, não considerou seriamente o movimento na ausência de atrito. Por isso era fundamental para Aristóteles que sempre fosse necessário empurrar ou puxar um objeto para mantê-lo em movimento. Fazendo uma analogia com o que conhecemos hoje, um corpo só se moveria se sobre ele atuasse uma força que superasse a resistência do meio ao movimento. Sem a existência de uma força, para Aristóteles, não haveria movimento, ou ele cessaria devido à resistência (que não era entendida como força).

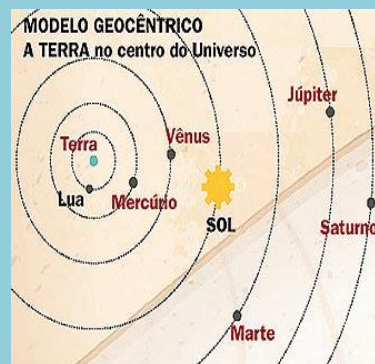
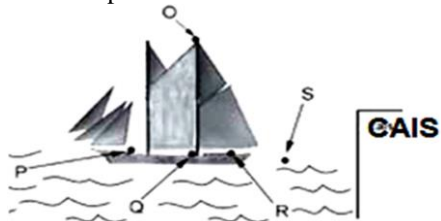
Como vemos, o universo aristotélico era um mundo completamente hierarquizado. Além disso, devemos registrar que, no pensamento de Aristóteles — como aliás no pensamento grego em geral —, havia um completo divórcio entre a teoria, considerada uma atividade nobre, e as técnicas, vistas como atividades de menor prestígio social. Não havia entre os gregos, portanto, o que hoje denominamos de experimentação, que é uma articulação entre as atividades teóricas e práticas.

Essa sumária exposição das ideias aristotélicas nos leva, de um lado, a perceber o desenvolvimento de conceitos e teorias bem elaborados e sofisticados, sempre apoiados no senso comum. Essa é, possivelmente, uma das razões pelas quais a Física Aristotélica permaneceu no pensamento do homem ocidental por tantos séculos (muitos de seus colegas e amigos até hoje pensam como Aristóteles), ao lado, naturalmente, de razões históricas, como a apropriação desse pensamento pela Igreja Católica durante a Idade Média.

Note-se, finalmente, que esse filósofo se preocupou mais com uma descrição qualitativa dos movimentos do que com relações matemáticas os envolvendo. É importante deixar claro que o modelo aristotélico de explicação dos fenômenos naturais é um modelo superado, uma vez que não explica corretamente tudo o que podemos observar hoje.

PENSANDO COMO ARISTÓTELES

Se uma bola de chumbo for solta na vertical do alto do mastro (ponto O) deste navio que se afasta do cais, em que posição ela cairá de acordo a Aristóteles? Discuta com colegas e com seu professor as suas ideias.



2 – PTOLOMEU (séc. II d.C.)

De Ptolomeu sabe-se pouco. Quis o acaso, assim, que estivesse no local certo, no tempo certo, para desfrutar de outro glorioso momento da história da cultura. Pois havia em Alexandria uma biblioteca notável, cuja construção começara pelo menos trezentos anos antes. Ali trabalharam e estudaram sábios de renome: Filon, Eratóstenes, Euclides, Estrabão, Aristarco, Hiparco e muitos, muitos outros. Entre tantos houve alguns que acharam que um Universo com o Sol ao centro seria mais lógico. Mas a ideia da Terra no centro tinha a seu favor as preferências de Aristóteles e Platão, dois pesos pesados da cultura ocidental.

E foi por aí que Ptolomeu seguiu, depois de ter considerado (e logo abandonado) a hipótese do Sol como centro de tudo. Em uma tentativa de melhorar e simplificar o modelo dos gregos, o astrônomo Cláudio Ptolomeu de Alexandria supunha que os planetas se moviam em círculos que tinham a Terra como centro. Esta suposição de Ptolomeu se encaixava ainda dentro da ideia dos gregos de usar somente figuras “perfeitas”, no caso os círculos. Este modelo perdurou praticamente por 15 séculos, pois permitiu reproduzir com uma boa aproximação os aspectos mais complicados do movimento planetário. Esta obra de Ptolomeu representa o apogeu da Astronomia antiga. O conjunto de seus escritos é conhecido entre os árabes como o *Almagesto*, que significa “o maior dos livros”.



Quando a Igreja cristã conseguiu estabelecer seu domínio religioso, intelectual e político sobre o mundo ocidental então conhecido, o sistema de Ptolomeu, chamado geocentrismo, se tornou quase um artigo de fé. Criticá-lo seria criticar a própria Bíblia - algo impensável num mundo governado pela religião. E assim foi por toda a Idade Média, o longo milênio em que a cultura se recolheu às igrejas e conventos e a população leiga ficou entregue à ignorância. Mesmo para os sábios ligados à Igreja, cultura era forma inútil de ler, reler, conhecer até os mais insignificantes detalhes o que havia sido pensado e escrito pelos filósofos antigos, Aristóteles, sobretudo.

O modelo de Ptolomeu permitia entender o que vemos todos os dias: o nascer e o pôr do Sol. O Universo de Ptolomeu se estende desde a Terra até as estrelas, onde uma série de corpos esféricos, os Orbes, se encaixavam uns nos outros. Nesses corpos esféricos se encaixavam os planetas. Na última esfera estariam fixas as estrelas. Os demais espaços seriam preenchidos por éter.

Seu modelo perdurou por muito tempo, apesar de bastante complexo com seus epiciclos, deferentes, equantes, além dos artifícios geométricos. Descrevia, para sua época, com precisão, os movimentos dos corpos celestes, e podia-se prever eclipses e a existência de alguns planetas.

3 – COPÉRNICO (séc. XV)

Mesmo apresentando uma boa precisão, o sistema de Ptolomeu ainda era muito complicado. Para tentar simplificar este modelo, Nicolau Copérnico, monge polonês que viveu entre 1473 e 1543, propôs um modelo em que Sol estaria em repouso e os planetas, incluindo a Terra, estariam girando em torno dele.

Este é o chamado *modelo heliocêntrico*. A precisão do modelo copernicano era tão boa quanto ao de Ptolomeu, porém simplificou o modelo de Universo, permitindo deduzir pela primeira vez a escala relativa das distâncias dentro do sistema solar e calcular o tempo que os planetas levam para girar em torno do Sol. Copérnico escreveu sua teoria no tratado *Revolutionibus Orbium Coelestium* (Sobre as Revoluções das Esferas Celestes) que foi publicada em 1543, ano de sua morte.

A época em que viveu Copérnico foi historicamente conhecida como Renascimento. Esse renascer cultural provoca modificações no pensamento europeu em todos os campos, inclusive no científico. É assim que no Universo Copernicano o Sol ocupava o centro, pois pensou que por ser o único astro com luz própria do sistema, seria o único que teria condições de iluminar todos os demais corpos celestes. Imaginou que todos os planetas moviam-se em torno do Sol, o que facilitava a determinação de suas órbitas.

Copérnico destronou a Terra do centro do Universo, colocou-a como mais um dos planetas. Ordenou os planetas em relação ao Sol a partir de suas distâncias em relação a ele. Dessa forma, a Terra já não ocupava uma posição de destaque, sendo somente a terceira dessa ordenação.

Determinando estas distâncias, Copérnico utilizou-as para explicar as diferenças entre os períodos de revolução dos planetas, que é o tempo que o astro leva para circundar o Sol, e concluiu que quanto mais longe do Sol, maior o tempo para completar sua revolução. Assim, Júpiter completa uma revolução em doze anos, pois está mais afastada do Sol, Marte em dois anos, a Terra em um ano e Mercúrio, por ser o mais próximo do Sol, completa em três meses.

3.1 – A TERRA SE MOVE?

Quando Nicolau Copérnico propôs a ideia de uma Terra que se move (como estudaremos adiante), o conceito de inércia ainda não era compreendido. Havia muito debate e muita disputa sobre se a Terra se movia ou não. O valor necessário de força para manter a Terra em movimento estava além da imaginação. Era um esforço muito maior que um vascaíno teria que fazer para ser feliz com o seu time...

Outro argumento contra a ideia de uma Terra móvel era: considere um pássaro parado no topo de uma árvore bem alta. No chão, lá embaixo, está uma minhoca gorda e suculenta. O pássaro enxerga a minhoca e mergulha verticalmente para baixo e a apanha. Isto seria impossível, foi argumentado, se a Terra se

movesse, como Copérnico sugeria. Se ele estivesse correto, a Terra teria que se mover com uma velocidade de 107000 km/h para poder dar uma volta completa em torno do Sol durante um ano. Para transformar esta velocidade para o S.I. (Sistema Internacional) dividiríamos seu valor por 3,6 e teríamos a resposta de 30000 m/s. Mesmo que o pássaro conseguisse descer do galho até o chão em 1 segundo, a minhoca teria sido carregada pelo movimento da Terra por uma distância de 30000 metros ou 30 km. Seria impossível para um pássaro mergulhar em linha reta para baixo e apanhar a minhoca. Mas de fato os pássaros apanham minhocas partindo de galhos de árvores altos, o que parecia ser uma clara evidência de que a Terra deveria estar em repouso. Você consegue refutar este argumento? Não!? Pense um pouquinho...lembre-se que você é um brasileiro e jamais deve desistir !!

3.2 – OS IMPACTOS DAS IDEIAS DE COPÉRNICO

Sobrinho do bispo, a quem servia no castelo episcopal, sabia como ninguém que sua teoria causaria enorme rebulição na Igreja e seria ferozmente combatida. Colocou--a para circular, prudentemente, apenas entre os amigos mais chegados, rotulando--a sempre como uma hipótese para calcular as posições futuras dos astros.

Um daqueles amigos observou: se os planetas se movem anualmente em torno do Sol e diariamente sobre seu eixo, então Vênus e Mercúrio devem apresentar fases, como a Lua. Seguro de si, Copérnico garantiu: "Eles realmente têm fases. Quando lhe aprouver, o bom Deus dará ao homem meios de observá-las". Outro problema permanecia insolúvel para os recursos da época: se a Terra realmente executasse aquele movimento anual, então deveria haver uma alteração na posição das estrelas, dentro da sua esfera, ao longo do ano. É o que se chama paralaxe anual. Copérnico assegurou que a paralaxe existia, mas não podia ser observada, porque as estrelas estavam a enorme distância da Terra. Isso levava a rever a ideia que se tinha, então, do tamanho do Universo. A Igreja Católica não se abalou de imediato com a "hipótese". O papa Clemente VII deu-lhe sua aprovação formal e pediu a Copérnico uma demonstração matemática de suas teorias. Mas o feroz reformador protestante Martinho Lutero não foi condescendente. "A Bíblia diz que Josué mandou o Sol parar no firmamento e não a Terra", comentou irado, para mostrar que a nova teoria contrariava as escrituras sagradas. Ele se referia ao episódio em que os judeus, de volta do exílio no Egito, lutavam para conquistar suas terras na Palestina. Uma batalha especialmente dura contra os amorreus não chegaria ao fim antes do anoitecer e, então, Josué, que sucedera a Moisés na liderança do povo, ordenou: "Sol, detém-te em Gideon e tu, Lua, no vale de Aijalon". Segundo a Bíblia, os dois astros se mantiveram imóveis quase um dia inteiro e a batalha foi vencida.

Sua teoria estava completa, testada e conferida, e ele, já doente, acreditava-se no fim da vida e fora do alcance de uma possível perseguição por parte da Igreja. Ainda assim, julgou melhor fazer a impressão em Nuremberg, cidade alemã sob influência protestante. Foi o pastor luterano Andreas Osiander quem cuidou do trabalho - e aparentemente tinha mais medo de Lutero do que Copérnico do papa. Por sua conta, sem pedir licença ao autor, colocou um prefácio onde informava aos leitores que aquilo não era uma visão real do Universo, mas apenas "um cálculo coerente com a observação". Como Osiander não assinou seu prefácio, os leitores pensaram que essa era a opinião do autor. O próprio Copérnico não pôde protestar, pois consta que o primeiro exemplar do livro, levado às pressas por um mensageiro, foi encontrá-lo a 24 de maio de 1543 no leito de morte - e ele nem sequer conseguiu virar a primeira página. De qualquer forma, tornara--se pública a teoria heliocêntrica. Lutero já reclamara antes: "Ela vai virar a Astronomia de cabeça para baixo". Copérnico via mais além: tirando o homem e a Terra do centro de tudo, sua teoria levaria à revisão da forma de encarar o enigma da formação do Universo, do surgimento da vida e do próprio homem. Mas isso se faria devagar, bem ao ritmo daqueles tempos.

Ainda hoje a ideia de que a Terra é o centro do Universo continua presente. O texto abaixo mostra uma pesquisa realizada nos Estados Unidos que retrata o fato.

Prisioneiros de Ptolomeu

Preparem-se para pegar em armas, camaradas! A revolução copernicana ainda não acabou. Duvida? Pergunte a Jon Miller. Ele é o responsável pelo Centro de Comunicações Biomédicas, em Chicago, Estados Unidos, órgão que conduz periodicamente pesquisas para avaliar a alfabetização científica da população daquele país. Seus últimos resultados mostram que um em cada cinco

americanos ainda acha que o Sol gira em torno da Terra. E, se isso soa inacreditável, saiba que o "privilegio" não é

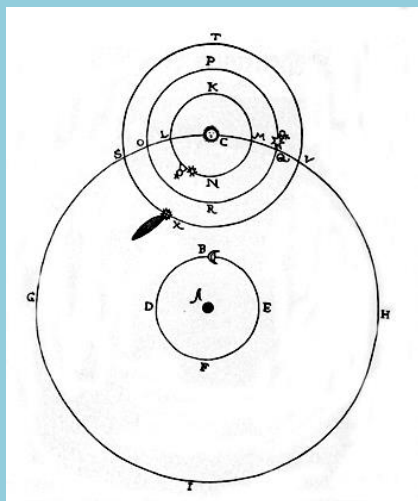
4- TYCHO BRAHE

A obra de Copérnico foi baseada em dados obtidos na antiguidade. Somente no final do século XVI o dinamarquês Tycho Brahe (1546- 1601) teve uma idéia diferente: em vez de retirar dados baseados em argumentos filosóficos, resolveu fazer medidas precisas das posições dos corpos celestes. Tycho Brahe estudou a posição dos planetas durante muitos anos em seu observatório na Ilha de Hven, perto de Copenhague. Ele montou tabelas volumosas e percebeu que o modelo de Copérnico não se adaptava de forma tão satisfatória a esses dados.

Assim Tycho propôs um sistema que era um híbrido entre os modelos de Ptolomeu e de Copérnico: a Terra estaria no centro do Universo, com o Sol girando em torno dela, mas os outros planetas estariam orbitando em torno do Sol.

4.1 – UMA PRECIOSA AJUDA

Apesar de ser um notável observador dos céus Tycho tinha escassos dotes para a Matemática - daí alegrar-se com a perspectiva de ter um jovem matemático alemão a seu lado. Esse matemático que despontava como um grande gênio se chamava Johannes Kepler. Ele precisava de Kepler a fim de



fornecer-lhe os cálculos necessários para dar sustentação à sua ideia. Kepler, ao contrário, esperava ter acesso aos volumes de Tycho para desenvolver suas próprias teorias a respeito sobretudo da movimentação dos planetas. A hora era boa à execução do projeto, tanto mais que, por coincidência, Tycho se desentendera com o rei Cristiano IV e acabara de se mudar da longínqua Uraniborg para a cidade de Praga, capital da atual Tchecoslováquia, onde recebera o posto de Matemático Imperial das mãos do imperador Rodolfo II. Tycho tinha uma ilha equipada com os melhores instrumentos disponíveis para observar o céu. Ele também tinha uma prisão em sua ilha, um anão vidente e um nariz feito de ouro e cera, porque seu nariz verdadeiro fora arrancado numa briga... e dizem as más línguas que seus descendentes torciam por um time de várzea dinamarquês chamado vasquinho...

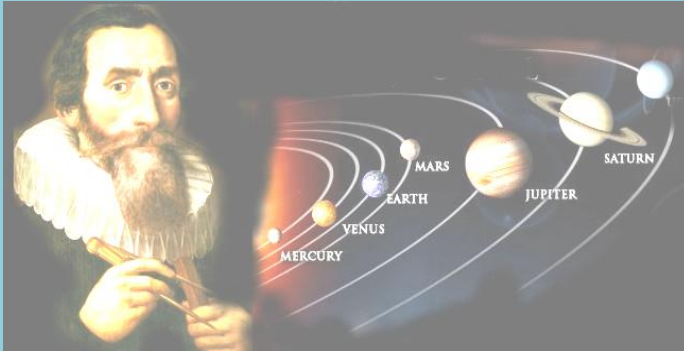
Mas a convivência dos dois foi muito difícil e eles brigavam feito cão e gato. Brahe não passava as anotações para Kepler, pois tinha medo que ele as publicasse e provocasse a ira da Igreja. Kepler queixou-se numa carta a amigos: "Tycho não permite que eu participe de suas experiências. Só durante as refeições, entre outros assuntos, ele menciona, de passagem, hoje o número do apogeu de um planeta, amanhã outro dado qualquer".

Após quase 18 meses de convivência, Brahe, no leito de morte, chama Kepler e pede a ele: Não deixe minha existência ter sido em vão... Use meus dados e faça a revolução que você tanto deseja. Assim, entra em cena um alemão que na opinião do físico Marcelo Gleisser, seria o primeiro astrofísico moderno: Johannes Kepler.

5 – JOHANNES KEPLER

Com sua grande habilidade matemática, Kepler em 1601, publicou sua obra-prima, *Astronomia Nova*, que trazia duas de suas três leis planetárias fundamentais.

A primeira delas afirma que os planetas descrevem órbitas em forma de elipses com o Sol em um dos seus focos. A segunda lei afirma que a velocidade dos planetas varia de tal forma que percorrem áreas iguais em tempos iguais. Calma, vamos entendê-las um pouco melhor já já. É só você ter um pouquinho de paciência.



Essas duas leis são as primeiras leis naturais no sentido moderno, na medida em que utilizam termos matemáticos para descrever relações universais governando fenômenos particulares. Com elas, a Astronomia separou-se da Teologia para unir-se à Física. Não foi um divórcio fácil. Desde os gregos, filósofos afirmavam que os astros percorriam trajetórias circulares em velocidade uniforme. A tarefa dos astrônomos consistia, sobretudo, em construir sistemas cada vez mais complicados para conciliar essa "verdade decretada" com as observações que iam fazendo com seus próprios olhos.

As conquistas de Kepler foram fantásticas, pois a sua vida não foi fácil. Ele era muito inteligente, mas tinha muitos problemas pessoais: tinha péssima vista, vermes, verrugas na pele, hemorróidas, sua primeira mulher e seus filhos morreram, e, mais tarde, ele dedicou boa parte da vida a evitar que sua mãe fosse queimada com feiticeira. Além de o seu pai ter sido um mercenário de reputação duvidosa. Coitado!

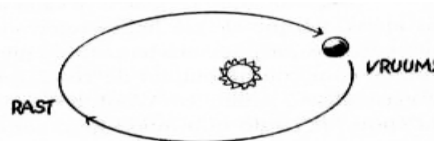
5.1 - AS LEIS DE KEPLER



Depois de termos esgotado a sua paciência com um monte de coisas acima, vamos esgotar mais um pouco falando de algumas importantes leis...tá bom, tá bom...vamos então bem

AS LEIS DE KEPLER - VERSÃO SIMPLES

- 1- Quando um planeta descreve uma órbita em torno do Sol, ele se aproxima, depois se afasta. Alguns quase não se aproximam, enquanto outros se aproximam bastante, mas não se preocupe muito com isso.
- 2- Quando está mais próximo do Sol, o planeta se move mais depressa.

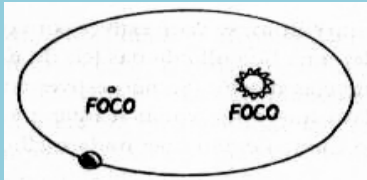


- 3- Os planetas que estão mais longe do Sol levam mais tempo para completar suas órbitas do que os que estão mais perto. Além de terem de andar mais, movem-se mais devagar.



Não entenderam nada? Como assim? Bom, se você estiver com cabeça para isso vamos dar uma olhada nas leis do Kepler para ver melhor o que elas dizem. Se não estiver com cabeça para isso, é claro que pode voltar a estas páginas quando for um velho caduco e não tiver nada melhor para fazer.

1ª LEI – OS PLANETAS SE MOVEM EM ELIPSES EM TORNO DO SOL, COM ELE EM UM DOS FOCOS.



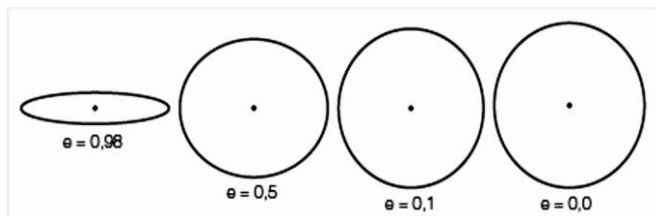
Como você pode perceber, isso significa que em certos momentos um planeta fica mais próximo do Sol do que em outros. Ah, é bom dizer que exageramos as elipses nestas ilustrações, porque a maioria das trajetórias dos planetas é quase uma circunferência, mas seria meio complicado desenhá-las.

ATENÇÃO ALUNO DIGIMON!

Toda elipse possui uma excentricidade entre zero e um. Quando a excentricidade da elipse se iguala a 1 nós dizemos que ela se degenera e se transforma em uma reta. Quando a excentricidade da elipse se iguala a zero nós dizemos que ela se degenera e se transforma em um círculo perfeito. A excentricidade das órbitas dos planetas ao redor do Sol são de elipses com excentricidades mais próximas a zero que a 1.

Representação de uma elipse, com os focos F1 e F2, seu eixo maior A e eixo menor B

A excentricidade de uma elipse (e) é dada por: $e = F/A$
Observe as seguintes elipses com suas respectivas excentricidades:



A tabela abaixo mostra as excentricidades das órbitas dos planetas de nosso Sistema Solar:

Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno	Plutão
0,206	0,0068	0,0167	0,093	0,048	0,056	0,046	0,010	0,248

*A partir de 24 de agosto de 2006, Plutão deixa de ser considerado um planeta por decisão da International Astronomical Union (IAU), na XXVI Assembléia Geral da entidade.

VARRE UMA ÁREA IGUAL NUM



O raio-vetor varre a mesma área no mesmo intervalo de tempo, porque nos pontos mais próximos do Sol (periélio) o planeta se move mais rapidamente e, nos pontos mais afastados (afélio), mais lentamente. A velocidade dos planetas é máxima no periélio e mínima no afélio.

$$3^{\text{a}} \text{ LEI} - T^2 = k R^3$$

Bonito e simples, não é? Mas se você prefere traduzir isso em palavras:

O QUADRADO DO TEMPO LEVADO POR UM PLANETA PARA COMPLETAR UMA ÓRBITA EM TORNO DO SOL É PROPORCIONAL AO CUBO DA SUA DISTÂNCIA MÉDIA DO SOL.

Reconheça, é uma joia. Relembrando

$$T^2 = k \cdot R^3 \quad \text{onde:}$$

T é o período do planeta
R é a distância média ao Sol
k é uma constante

Curiosidade:

O valor de k para o sistema solar é $3 \cdot 10^{-19} \text{ s}^2/\text{m}^3$

Vamos treinar?

PENSANDO COMO KEPLER

Exemplo 1. Dois satélites de um planeta têm respectivamente períodos de revolução de 32 dias e de 256 dias. Se o raio da órbita do primeiro vale uma unidade, quantas unidades vale o raio da órbita do segundo?

Resp. 4 unidades.

Exemplo 2. Determine o período, em anos terrestres, de um planeta hipotético que gire em torno do Sol a uma distância 8 vezes maior que a da Terra.

Resp. 22,6 anos.

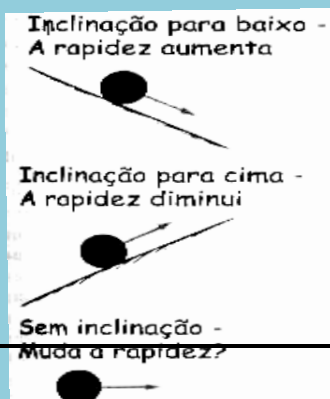
Bom...mas agora chega de leis de Kepler! Você vai se sentir aliviado ao saber que não tem mais nenhuma lei de Kepler para encher a nossa paciência. Na verdade, está na hora de darmos tchau para o coitado do Kepler, porque sua vida foi rumando pouco a pouco para um fim tristíssimo. Ele passou suas últimas semanas se arrastando a duras penas de cidade em cidade, tentando receber os salários que lhe deviam, até que não aguentou mais e morreu. Mas sua genialidade foi uma das principais fontes de inspiração de Newton, e ele será lembrado para sempre por isso, pois faltou muito pouco para Kepler conceituar “força gravitacional”.

6 – GALILEU (1564 a 1642)

Galileu lançou as bases do que hoje denominamos de Física Clássica, pondo fim à Física Aristotélica. Formulou o que hoje denominamos de princípio da inércia, definindo que, na ausência de forças (ou com forças cuja resultante seja nula), os corpos mantêm o seu estado de movimento, isto é: se estão em repouso, permanecerão em repouso; se estão em movimento uniforme, permanecerão em movimento uniforme.

O cientista italiano formulou também a lei que descreve a queda dos corpos quando caem livremente, o princípio do isocronismo (mesmo período) dos pêndulos, além de contribuições ao estudo da Resistência dos Materiais — disciplina, aliás, de grande importância para a engenharia.

Galileu obteve tais resultados empregando uma maneira de pensar muito diferente daquela conhecida pelos aristotélicos. Esse modo de pensar, ou método, é, talvez, o maior legado de Galileu à Constituição da ciência moderna. O cientista italiano recorreu à experimentação, pondo fim ao



divórcio entre teoria e prática, realizando, dessa forma, o casamento entre essas duas esferas da atividade humana. A experimentação, para Galileu, não se reduz, contudo, à mera observação. Ela supõe a formulação de uma hipótese matematizada — portanto, uma abstração — das relações entre as variáveis do fenômeno em estudo.

Formular uma hipótese é inventar uma ideia preliminar sobre o fenômeno a ser estudado. Essa ideia deve então ser expressa em termos matemáticos para ser submetida a um teste empírico, isto é, a realização de uma experiência. Conforme o próprio Galileu explicitou, os segredos da natureza estão escritos em linguagem matemática, de modo que, sem conhecer essa linguagem, não poderemos conhecer mais profundamente o mundo em que vivemos. O caráter científico dos posicionamentos de Galileu lhe trouxe sérios problemas. A poderosa Igreja Católica da época, que estava absolutamente contrariada com suas ideias, o perseguiu e o condenou. Em face de tudo isso, ele abjurou suas convicções diante da Igreja e negou que tivesse acreditado no modelo heliocêntrico.

De todo modo, a essa altura era impossível impedir que as ideias de Galileu fossem disseminadas. A escolha do italiano na redação de seus trabalhos contribuiu muito para a popularização de suas ideias. Utilizando-se de diálogos entre personagens fictícias, Galileu exibiu o seu brilhante poder de convencimento e didatismo, que era usado para demolir a Física Aristotélica, às vezes até de forma irônica. O processo contra Galileu tem motivado, mais recentemente, diversificados estudos de cunho histórico. Galileu morreu aos 78 anos, quando nascia Isaac Newton. Interessante acrescentar que Galileu não acreditava na força de atração gravitacional que mantinha a Lua ao redor da Terra. Para Galileu, o movimento circular da Lua era um movimento natural e, portanto, não necessitava de forças. Apesar de ter compreendido o conceito de inércia, Galileu o atribuiu também ao movimento circular. Coube a Newton formular o conceito de inércia aplicado apenas ao repouso e aos movimentos retilíneos.

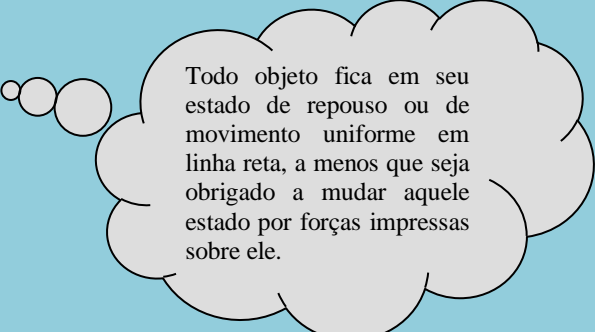
6.1 – NOVAS IDÉIAS SOBRE A INÉRCIA

Em sua obra ‘DIÁLOGO SOBRE OS DOIS PRINCIPAIS SISTEMAS DO MUNDO’ (nominho grande, não!?) Galileu usa o diálogo entre dois personagens para refutar as ideias aristotélicas que prevaleceram na Idade Média. Aristóteles foi um astuto observador da natureza, e tratou mais com problemas que o cercavam do que com casos abstratos que não ocorriam em seu ambiente. O movimento sempre envolve um meio resistivo, tal como ar ou água. Ele acreditava ser impossível a existência de um vácuo e, portanto, não considerou seriamente o movimento na ausência de atrito. Por isso era fundamental para Aristóteles que sempre fosse necessário empurrar ou puxar um objeto para mantê-lo em movimento. E foi este princípio básico que Galileu negou quando afirmou que, se não houvesse interferência sobre um objeto móvel, este deveria mover-se em linha reta para sempre; nenhum empurrão, puxão ou qualquer tipo de força era necessária para isso.

Galileu testou suas hipóteses fazendo experiências com o movimento de diversos objetos sobre planos inclinados. Ele notou que bolas que rolavam para baixo sobre planos inclinados tornavam-se mais velozes, enquanto que bolas que rolavam para cima, sobre um plano inclinado, tornavam-se menos velozes. Disto concluiu que bolas que rolassem sobre um plano horizontal não deveriam tornar-se mais ou menos velozes. A bola atingiria finalmente o repouso não por causa de sua “natureza”, mas por causa do atrito.

Esta ideia foi sustentada pelas observações de Galileu sobre o movimento ao longo de superfícies progressivamente mais lisas: quando havia menos atrito, o movimento dos objetos persistia por mais tempo; quanto menor o atrito, mais rápido se tornava o movimento. Ele raciocinou que, na ausência de atrito ou de outras forças opostas, um objeto movendo-se na horizontal continuaria movendo-se indefinidamente. A propriedade de um objeto tender a manter-se em movimento numa linha reta foi chamada por ele de *inércia*.

O conceito de Galileu de inércia desacreditou a ideia de Aristóteles sobre o movimento. Aristóteles de fato não reconheceu a ideia de inércia porque deixou de imaginar como seria o movimento sem atrito. A falha de Aristóteles em reconhecer o atrito pelo que ele é – ou seja, uma força com outra qualquer – impediu o progresso da física por quase 2000 anos, até a época de Galileu. O caminho estava aberto para Isaac Newton sintetizar uma nova visão do universo. Newton refinou a ideia de Galileu e formulou sua primeira lei, denominada LEI DA INÉRCIA. Do Principia (livro de Newton):



Todo objeto fica em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja obrigado a mudar aquele estado por forças impressas sobre ele.

Agora leia atentamente o texto que trata da lei da Inércia, escrito por Galileu, o precursor da primeira lei de Newton.

“SIMP” e “SALV” são as iniciais dos nomes dos personagens fictícios: Simplicio e Salviatti.

“SALV.: ... Diga-me agora: Suponhamos que se tenha uma superfície plana lisa como um espelho e feita de um material duro como o aço. Ela não está horizontal, mais inclinada, e sobre ela foi colocada uma bola perfeitamente esférica, de algum material duro e pesado, como o bronze. A seu ver, o que acontecerá quando a soltarmos?

... SIMP.: Não acredito que permaneceria em repouso; pelo contrário, estou certo de que rolaria espontaneamente para baixo.

... SALV.: ... E por quanto tempo a bola continuaria a rolar, e quão rapidamente? Lembre-se de que eu falei de uma bola perfeitamente redonda e de uma superfície altamente polida, a fim de remover todos os impedimentos externos e acidentais. Analogamente, não leve em consideração qualquer impedimento do ar causado por sua resistência à penetração, nem qualquer outro obstáculo acidental, se houver.

SIMP.: Compreendo perfeitamente, e em resposta a sua pergunta digo que a bola continuaria a mover-se indefinidamente, enquanto permanecesse sobre a superfície inclinada, e com um movimento continuamente acelerado...

SALV.: Mas se quiséssemos que a bola se movesse para cima sobre a mesma superfície, acha que ela subiria?

SIMP.: Não espontaneamente; mas ela o faria se fosse puxada ou lançada para cima.

SALV.: E se fosse lançada com um certo impulso, qual seria seu movimento, e de que amplitude?

SIMP.: O movimento seria constantemente freiado e retardado, sendo contrário à tendência natural, e duraria mais ou menos tempo conforme o impulso e a inclinação do plano fossem maiores ou menores.

SALV.: Muito bem, até aqui você me explicou o movimento sobre dois planos diferentes. Num plano inclinado para baixo, o corpo móvel desce espontaneamente e continua acelerando, e é preciso empregar uma força para mantê-lo em repouso. Num plano inclinado para cima, é preciso uma força para lançar o corpo ou mesmo mantê-lo parado, e o movimento impresso no corpo diminuiu continuamente até cessar de todo. Você diria ainda que, nos dois casos, surgem diferenças conforme a inclinação do plano seja maior ou menor, de forma que um declive mais acentuado implica maior velocidade, ao passo que, num aclave, um corpo lançado com uma dada força se move tanto mais longe quanto menor o aclave.

Diga-me agora o que aconteceria ao mesmo corpo móvel colocado sobre uma superfície sem nenhum aclave nem declive.

SIMP.: Aqui preciso pensar um instante sobre a resposta. Não havendo declive, não pode haver tendência natural ao movimento, e, não havendo aclave, não pode haver resistência ao movimento. Parece-me portanto que o corpo deveria naturalmente permanecer em repouso. Mas eu me esqueci; faz pouco tempo que Sagredo me deu a entender que isto é o que aconteceria.

SALV.: Acredito que aconteceria se colocássemos a bola firmemente num lugar. Mas que sucederia se lhe déssemos um impulso em alguma direção?

SIMP.: Ela teria que se mover nessa direção.

SALV.: Mas com que tipo de movimento?

Seria continuamente acelerado, como no declive, ou continuamente retardado, como no aclave?

SIMP.: Não posso ver nenhuma causa de aceleração, uma vez que não há aclave nem declive.

SALV.: Exatamente. Mas se não há razão para que o movimento da bola se retarde, ainda menos há razão para que ele pare; por conseguinte, por quanto tempo você acha que a bola continuaria se movendo?

SIMP.: Tão longe quando a superfície se estendesse sem subir nem descer.

SALV.: Então, se este espaço fosse limitado, o movimento sobre ele seria também ilimitado? Ou seja, perpétuo?

SIMP.: Parece-me que sim, desde que o corpo móvel fosse feito de material durável."

6.2 – GALILEU CONTRARIA A IGREJA

Galileu procurou demonstrar que Copérnico estava correto na proposição de que o Sol era o centro do universo. Apontou o telescópio para o céu e fez descobertas importantíssimas como: as manchas solares, as luas de Júpiter e seus movimentos em torno desse planeta, as irregularidades na superfície da Lua e as fases de Vênus (semelhantes às fases da Lua). Com isso, contrariou vários dogmas da Igreja Católica, que

instaurou um processo contra ele. Para escapar de um final trágico, Galileu teve que ler e assinar, diante de um tribunal, uma confissão em que reconhecia o “erro e a heresia”:

“Eu, Galileu Galilei, filho de Vincenzo Galileu de Florença, com a idade de setenta anos, sendo trazido pessoalmente a julgamento, e ajoelhado diante de vós, Eminentíssimos e Reverendíssimos Lordes Cardeais, Inquisidores Gerais da Comunidade Cristã universal contra a depravação herética, tendo diante de meus olhos o Sagrado Evangelho, que toco com minhas próprias mãos, juro que sempre acreditei e, com a ajuda de Deus, acreditarei no futuro, em todo artigo que a Santa Igreja Católica Apostólica Romana mantém, ensina e prega. Mas, por ter sido ordenado, por esse conselho, a abandonar completamente a falsa opinião que mantém que o Sol é o centro e imóvel, e proibido de manter, defender ou ensinar a referida falsa doutrina de qualquer maneira...”

Lembra-se do problema do pássaro proposto por Copérnico? Galileu nos ajudaria a pensar em uma boa resposta.



Vamos invocar juntos: PELOS PODERES DA INÉRCIA....

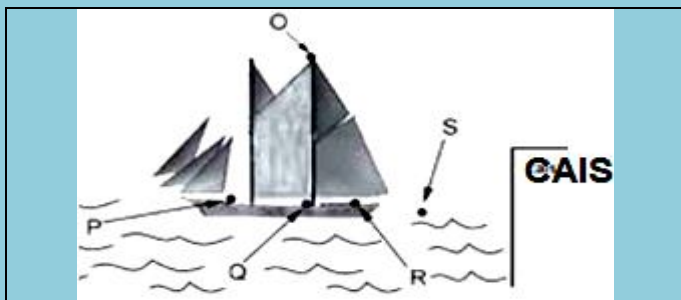
Veja, não somente a Terra se move a 30 km/s, mas também a árvore, o galho da árvore, o pássaro parado nele, a minhoca e até mesmo o ar entre eles. Todos estão se movendo a 30 km/s. Portanto, quando o pássaro mergulha do galho, seu movimento lateral inicial de 30 km/s permanece inalterado. Ele apanha a minhoca sem ser em nada afetado pelo movimento de seu de seu ambiente.

PENSANDO COMO GALILEU

Em 1632, em seu livro intitulado Dialogo supra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano (Diálogo sobre os dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano) Galileu retomou a questão sobre a queda de um corpo do alto do mastro em um navio parado ou em movimento. Num trecho do “Diálogo” Galileu, representado pelo personagem Salviatti responde a Simplicio, personagem que representava os aristotélicos:

“... Deixando cair uma bola de chumbo do alto do mastro de um navio que esteja parado, marcando o lugar onde ela bate, que é próximo a base do mastro; mas, se do mesmo lugar deixa-se cair a mesma bola, quando o navio estiver em movimento, sua batida será afastada da outra por tanto espaço quanto o navio adiantou-se durante o tempo da queda do chumbo, e isto simplesmente porque o movimento natural da bola posta em liberdade é por linha reta em direção ao centro da Terra...”

Utilizando-se das informações acima, se uma bola de chumbo for solta na vertical do alto do mastro (ponto O) deste navio que se afasta do cais, em que posição ela cairá de acordo a Galileu? **EXPLIQUE** suas respostas.



7 – DESCARTES



O filósofo e matemático francês René Descartes (1596-1650) contribuiu de modo significativo para a Física ao corrigir alguns erros de Galileu. Como vimos anteriormente, Galileu não tinha compreendido que a inércia se aplicava apenas a corpos livres de forças em movimento retilíneo e uniforme; ele acreditava que também o movimento circular era inercial. Por isso, para ele, o movimento da Lua ao redor da Terra não requeria a ação de uma força, pois seu movimento circular era “natural”. Galileu, de certo modo, descobriu o princípio da inércia, mas ainda o viu impregnado pelo movimento circular.

Descartes percebeu que o movimento retilíneo é inercial, mas não o circular. Se o movimento da Lua não é “natural”, se a Lua não tem tendência de ficar ao redor da Terra, o que, então, para ele, a manteria em órbita?

Ele refutava a hipótese da gravitação. Para Descartes, era inaceitável pensar que dois planetas se atraem à distância, sem uma conexão material entre eles. Descartes defendia a hipótese dos vórtices: os planetas “nadam” sem alternativa num infinito éter, ou “matéria inicial”. Essa matéria cai numa série de redemoinhos ou vórtices nos quais os planetas se movimentam, como se os planetas fossem laranjas ou maçãs carregadas por um tornado ou furacão. Esse movimento, em forma de turbilhão, explicaria a órbita dos planetas ao redor do Sol sem que se recorresse à força gravitacional. Isaac Newton começou cartesiano, mas concluiu que o modelo de Descartes não era bom, pois não se adaptava matematicamente bem às leis dos fenômenos. “A hipótese dos vórtices” se defronta com muitas dificuldades”, diz Newton nos Principia. Era a deixa para a idéia de que uma força, chamada de gravitacional, estaria por trás de tudo isso.

No próximo tópico continuaremos a discutir essa profunda revolução científica em que Newton, sem dúvida nenhuma, foi um dos maiores protagonistas.

8- ISAAC NEWTON E SUAS LEIS

Foram basicamente os trabalhos de Galileu e Kepler que pavimentaram o caminho para o inglês Isaac Newton (1642-1727) formular a lei fundamental da Dinâmica e a lei da Gravitação Universal.

Newton reconheceu o papel de seus precursores quando declarou: —Se consegui enxergar mais longe é porque estava apoiado em ombros de gigantes. Podemos dividir a Física em antes e depois de Newton. Antes dele se acreditava em duas físicas distintas. Uma dos Céus (Kepler e Copérnico) e outra da Terra (Galileu). A sabedoria de Newton foi perceber que a física seria única, seria Universal (Assim na Terra como no Céu!). As leis que regem os corpos no espaço seriam responsáveis em governar os movimentos na Terra. Essas ideias revolucionaram a Física de tal forma que vivemos regido por esse pensamento até hoje.