

A Força Gravitacional

Ao observarmos o movimento dos corpos celestes vemos que eles não são objetos errantes que seguem trajetórias quaisquer no espaço. Todos eles, sem exceção, percorrem órbitas bem determinadas obedecendo a leis gerais que são válidas em todo o Universo. Isto é importante por nos indicar que os corpos celestes estão sob a ação de forças que os mantêm em suas órbitas. Melhor ainda, sabemos que os objetos na Terra interagem e conhecemos as leis que regem essas interações. Observamos que ao usarmos a primeira lei de Newton e aplicarmos uma força sobre um corpo qualquer, uma pedra por exemplo, atirando-a para cima ela retorna à Terra. Por que isso acontece? Se a única força atuante sobre a pedra fosse o atrito com o ar que forma a nossa atmosfera, a pedra diminuiria a sua velocidade até parar e permaneceria flutuando no ar. No entanto, isso não ocorre. A pedra volta para a superfície da Terra. Uma situação tão simples quanto essa nos mostra que a Terra está exercendo algum tipo de força que atrai a pedra de volta para ela. O mesmo tipo de interação deve ocorrer entre todos os corpos celestes e a ela damos o nome de interação gravitacional.



A descoberta da lei que nos mostra de que maneira os corpos celestes interagem foi feita por Isaac Newton. Aplicando uma ferramenta matemática que ele havia recentemente desenvolvido, chamada *fluxions* e que hoje é conhecida como "cálculo diferencial", à órbita da Lua em torno da Terra, Newton foi capaz de determinar que a força da gravidade deve depender do *inverso do quadrado* da distância entre a Terra e a Lua.

Ao mesmo tempo, hoje sabemos que, segundo a Terceira Lei de Newton, uma vez que a gravidade é uma força exercida por um corpo sobre outro ela deve atuar de modo recíproco entre as duas massas envolvidas.

A Teoria da Gravitação de Isaac Newton

Newton deduziu então que:

"A força de atração gravitacional entre dois corpos de massas M e m é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa".

Para transformar a proporcionalidade em igualdade Newton introduziu uma "constante de proporcionalidade" na sua equação. Esta constante de proporcionalidade é a constante de gravitação de Newton, representada pela letra G e que tem o valor

$$G = 6,67 \times 10^{-8} \text{ dinas centímetro}^2/\text{grama}^2$$

Na equação acima "dina" é uma unidade de medida de forças. Ela corresponde a gramas.centímetro/segundo². Uma outra unidade de força também comumente usada é o "newton" que equivale a quilograma.metro/segundo².

Pela lei da gravitação universal a força de atração gravitacional entre a Terra e a Lua é dada por

$$F = G \frac{Mm}{d^2}$$

onde G é a constante gravitacional, M é a massa da Terra, m é a massa da Lua, e d é a distância entre a Terra e a Lua.

Observações:

- a gravidade é a mais fraca entre todas as forças fundamentais.
- a gravidade é uma força de longo alcance. Veja, na equação acima, que não há qualquer limite para o valor de d, que é a distância entre os corpos.
- a gravidade é uma força somente atrativa. Não existe repulsão gravitacional.
- a história de que Newton teria notado a existência da lei da gravitação a partir da queda de uma maçã é, quase certamente, apócrifa.

É por causa dessas características que a gravidade domina várias áreas de estudo na astronomia. É a ação da força gravitacional que determina as órbitas dos planetas, estrelas e galáxias, assim como os ciclos de vida das estrelas e a evolução do próprio Universo, como veremos mais tarde.

A Constante Gravitacional da equação de Newton

A gravidade é uma força tão fraca que a constante G que aparece na equação da gravitação de Newton não podia ser medida na época em que a equação foi proposta.

O primeiro a estimar o valor de G foi o astrônomo Nevil Maskelyne. Para fazer isto ele procurou usar duas massas bastante diferentes de tal modo que a a força gravitacional entre elas pudesse ser medida. Nada melhor do que a massa de uma montanha e a de um pedaço de chumbo preso a uma linha. Certamente a atração gravitacional entre estas duas massas provocaria uma deflexão na linha que sustentava o chumbo. Em 1774, Maskelyne aproximou o seu peso de chumbo das encostas inclinadas do Monte Schiehallion, na Escócia, e mediu a deflexão da linha ou seja, a ação gravitacional entre a montanha e o peso de chumbo. Como o monte Chiehallion tinha uma forma muito regular, Maskelyne foi capaz de estimar sua massa e, como ele conhecia a massa do peso de chumbo, foi possível então determinar o valor da constante gravitacional G.

No entanto, o físico inglês Henry Cavendish foi o primeiro a medir G no laboratório.

A ação da gravidade nas nossas vidas

E de que modo a ação da gravidade se apresenta na nossa vida? O simples fato de você permanecer de pé na superfície da Terra é resultado da existência da força gravitacional. É a ação da gravidade da Terra que faz você permanecer sobre ela. É claro que você tem até uma pequena liberdade pois consegue saltar na vertical mas logo é obrigado a retornar à sua superfície tão logo a Terra sinta "saudades" de você e te traga de volta para pertinho dela.

E que outra ação da gravidade nos afeta diretamente? A ação gravitacional entre a Terra e a Lua é uma

dessas ações. É ela que produz o conhecido fenômeno das marés. Além disso, como a Lua é um satélite de grande massa, se comparado com os outros satélites do Sistema Solar, a atração gravitacional entre ela e a Terra serve como elemento estabilizador da rotação do nosso planeta em torno do seu eixo. No entanto, a Lua está se afastando da Terra e a mudança desta ação gravitacional, daqui a milhares de anos, provocará uma alteração no eixo de rotação da Terra. Esta mudança se refletirá sob a forma de fortes alterações climáticas no nosso planeta.

A Gravitação Quântica

Já vimos que a teoria clássica da gravitação é descrita pela Lei de Newton da Gravitação Universal. Sua generalização relativística é a teoria da Gravitação de Einstein, também chamada de Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Na verdade, a interação gravitacional seria melhor chamada de Geometrodinâmica, termo proposto pelo físico norte-americano John Wheeler, uma vez que a relatividade geral geometriza a gravitação.

No entanto, como veremos em um dos próximos cursos à distância do ON, sobre Cosmologia, para descrever os estágios iniciais da formação do Universo precisamos de uma teoria quântica da gravitação.

Até agora os físicos ainda não possuem uma teoria como essa, apesar dos enormes esforços desenvolvidos para isto. As dificuldades para criar uma teoria quantizada para a gravitação têm sido muito grandes: a matemática envolvida é excepcionalmente sofisticada e os conceitos físicos estão na fronteira do nosso conhecimento e imaginação.