

Campos e forças

A segunda lei de Newton ($F = ma$) diz como um objeto de massa m irá se comportar (no sentido de movimento) sob a influência de uma dada força (F). Mas ela nada diz à respeito da origem dessa força em primeiro lugar – ela não diz qual é o agente ou mecanismo responsável pela força em questão¹. Neste capítulo será introduzida as duas interações mais importantes do ponto de vista do mundo que vivemos e observamos: a atração entre massas e a atração ou repulsão elétrica entre corpos eletricamente carregados.

Em primeiro lugar, deve-se generalizar o conceito de “carga”. As interações fundamentais da Natureza atuam em diferentes objetos de acordo com os tipos de “cargas” que estes possuem, cujo significado deve ser tomado com um sentido mais amplo do que o da “carga elétrica”. Nesse sentido, a “massa” funciona como uma “carga” para a interação gravitacional, ou seja, toda partícula que possui massa sofre a interação gravitacional. Partículas ou objetos carregados eletricamente são sensíveis à interação elétrica; se esses corpos estão em movimento, surge também a interação magnética; estas interações são descritas pela teoria chamada Eletrodinâmica.

Por outro lado, a interação forte atua em partículas que possuem a chamada “carga de cor”, termo utilizado inicialmente por falta de uma definição melhor e por questões históricas, foi mantido até os dias atuais. Hoje sabemos que as partículas mais fundamentais que possuem a carga de cor são os quarks e são descritos pela teoria chamada Cromodinâmica.

A interação fraca atua em partículas que possuem carga “fraca”, mas este é um caso especial e não será tratado aqui. Basta dizer que o estado atual da Física trata os fenômenos eletromagnéticos e fracos dentro de uma mesma teoria chamada Eletrodinâmica Quântica, ou Teoria Eletrofraca.

Intuitivamente as pessoas pensam em forças entre objetos apenas quando estes estão em **contato** – duas bolas de bilhar, por exemplo. Talvez seja por isso que as forças magnéticas pareciam tão mágicas: dois polos nortes repelem-se mesmo quando não estão se tocando. Newton introduziu a noção de **ação-à-distância**: a Terra exerce uma força gravitacional na Lua mesmo que não exista nenhuma conexão entre elas. O próprio Newton pensava que isso era um absurdo, ele encarava sua teoria como provisória, e que a existência de algo físico que ligava os dois corpos deveria ser descoberto. Isso levou à formulação da hipótese de existência do éter, cuja existência no entanto foi descartada após vários experimentos realizados, principalmente, por Mickelson-Morley.

No início do Século XIX, Michael Faraday, trabalhando com magnetos, introduziu o conceito de **campo**. Cada ímã produzia na sua vizinhança um **campo magnético** e é esse campo que exerce a força no outro ímã. Esse conceito evitava o problema da ação-à-distância, provendo a “corrente” invisível prevista por Newton, porém neste caso seria um **campo gravitacional** que ligava a Terra à Lua. A formulação dos campos provou ser extraordinariamente poderoso e no Século XX, os físicos passaram a olhar *todas* as forças como sendo mediadas por *campos*.

¹ A equação da Segunda Lei de Newton é confusa no sentido de que ela parece ser uma equação para F , porém na prática ela é uma equação para a . Seria preferível escrevê-la na forma $a = F/m$, mas essa não é a notação usual.

Campo Elétrico – História

(retirado de https://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_elétrico)

Os estudos a respeito da [eletricidade estática](#), criadora dos campos elétricos, remontam ao filósofo grego [Tales de Mileto](#) no século VI a.C. O filósofo e estudioso da natureza descreveu o fenômeno que consiste em uma barra de [âmbar](#) (seiva petrificada) que atrai pequenos objetos depois de atritada com uma pele de coelho. No cotidiano, é o mesmo que esfregar uma caneta de plástico (material isolante) contra um pano ou o próprio cabelo. Em ambas as situações, o objeto fica eletricamente carregado.

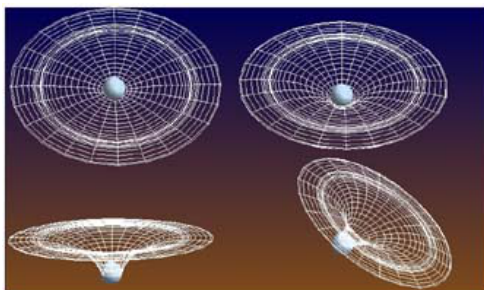
A explicação da força entre partículas através da existência de um campo vem desde a época em que foi desenvolvida a teoria da gravitação universal. A dificuldade em aceitar que uma partícula possa afetar outra partícula distante, sem existir nenhum contato entre elas, foi ultrapassada na física clássica com o conceito do campo de força. No caso da força eletrostática, o campo mediador que transmite a força eletrostática foi designado por éter; a luz seria uma onda que se propaga nesse éter lumínico. No século XIX foram realizadas inúmeras experiências para detectar a presença do éter, sem nenhum sucesso.

No fim do século chegou-se à conclusão de que não existe tal éter. No entanto, o campo elétrico tem existência física, no sentido de que transporta energia e que pode subsistir até após desaparecerem as cargas que o produzem. Na física quântica a interação elétrica é explicada como uma troca de partículas mediadoras da força, que são as mesmas partículas da luz, os fótons. Cada carga lança alguns fótons que são absorvidos pela outra carga; no entanto, neste capítulo falaremos sobre a teoria clássica do campo, onde o campo é como um fluido invisível que arrasta as cargas elétricas.

Campo Gravitacional

(retirado de <http://www.educacional.com.br/reportagens/testederelatividadegeral/default21.asp>)

De acordo com a Teoria da Relatividade Geral de Einstein, o espaço não é “vazio”, mas forma, juntamente com o tempo, uma estrutura invisível, um sistema tetradimensional denominado espaço-tempo. O espaço também não é algo como um “pano de fundo” tridimensional no qual os corpos se movem: é uma estrutura cujas propriedades dependem da presença de matéria. Matéria e energia em movimento curvam o espaço-tempo. Essa deformação é muitas vezes comparada à que ocorre em uma rede esticada quando nela se deposita uma esfera maciça e pesada.



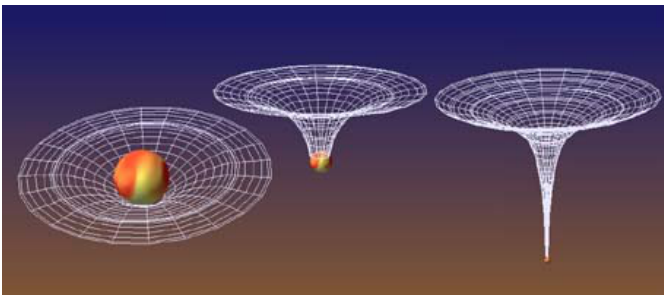
A imagem de uma rede esticada com uma esfera ajuda a visualizar a teoria, mas é limitada, pois a deformação ocorre em duas dimensões (a superfície da rede) sobre uma terceira (profundidade). Já a deformação do espaço-tempo ocorre nas três dimensões de espaço e na dimensão de tempo, o que impossibilita sua visualização. A interação gravitacional surge como efeito dessa curvatura. A Lua, por exemplo, não é “atraída” para a Terra ao percorrer sua trajetória pela atuação de uma força a distância; ela simplesmente segue a estrutura curva do espaço-tempo ao redor da Terra — causada justamente pela presença de um corpo de grande massa (a Terra). Uma forma possível de comprovar a curvatura do

espaço-tempo é acompanhar a trajetória seguida pela luz. Como esta sempre percorre a menor distância entre dois pontos, num espaço-tempo plano, a trajetória é retilínea; num espaço-tempo deformado, a luz acompanha a curvatura do espaço, fato já comprovado por meio de observações de estrelas durante eclipses do Sol.

O movimento de corpos com massa não apenas “curva” a estrutura do espaço-tempo como “torce” o espaço-tempo local caso os corpos apresentem movimento de rotação. Isso foi previsto em 1918 por Josef Lense e Hans Thirring com base na Teoria Geral da Relatividade de Einstein e denominado “frame dragging” (arrastamento de estrutura) ou gravitomagnetismo, por comparação ao efeito magnético.



O magnetismo é observado quando existem partículas eletrizadas (ou portadoras de carga) em movimento. Ou seja: uma partícula com carga elétrica em repouso possui ou produz ao redor de si um campo elétrico. A mesma partícula em movimento de translação ou rotação gera, além do campo elétrico, um campo magnético. Supõe-se que com a gravidade deve ocorrer algo parecido — trocando-se a carga elétrica pela massa. Corpos com massa originam ao redor de si um campo gravitacional e, ao se moverem pelo espaço ou girarem sobre si mesmos, devem produzir um campo “gravitomagnético”. Esse campo deve gerar efeitos mínimos se originados por corpos ordinários, como a Terra ou o Sol, observáveis pela precessão de satélites, mas espantosos nas proximidades de buracos negros ou estrelas de nêutrons dotados de rotação. Isso ocorre porque a deformação do espaço-tempo varia de acordo com a densidade: quanto mais denso (compacto) é o astro, mais intensa é a deformação em seu entorno.



Para efeito de comparação: a figura à esquerda representa uma estrela comum, como nosso Sol, e, ao seu redor, o espaço-tempo deformado. Já a do meio simula uma estrela de nêutrons, que é muito mais densa e possui uma massa maior que a do Sol. Por sua vez, a figura da direita reproduz um buraco negro.

Os teóricos crêem que os jatos de matéria emitidos por buracos negros e estrelas de nêutrons (sempre aos pares, com jatos em sentidos opostos) são potencializados e direcionados pelo gravitomagnetismo. Além disso, há fortes evidências de que o disco de acreção** dos buracos negros apresente movimento de precessão*, o que seria explicado pelo gravitomagnetismo.

***Precessão** é um movimento observado por exemplo em um pião. A medida que o pião gira sobre seu eixo de simetria, o próprio eixo descreve também um movimento circular.

****Disco de acreção** é uma concentração de matéria em torno de um buraco negro ou outro astro denso (como uma estrela de nêutrons). A matéria atraída para um buraco negro gira ao redor deste e a velocidade de rotação aumenta a medida que se aproxima, a fim conservar o momento angular a matéria se concentra num disco ao redor do buraco negro.