

Il campo gravitazionale

Ogni corpo dotato di massa (cioè tutto ciò che esiste, ad eccezione delle onde elettromagnetiche) interagisce in qualche modo con l'ambiente che lo circonda, tanto più quanto maggiore è la sua massa. L'ambiente che circonda il corpo viene modificato conformemente alla legge che Isaac Newton rese pubblica nel 1687, e che (nella stragrande maggioranza dei casi) è considerata valida ancora oggi: la legge della *Gravitazione Universale*. Questa legge afferma che due corpi nello spazio (questo è il caso più semplice: la trattazione può teoricamente essere estesa ad un sistema contenente decine di corpi, ma i calcoli relativi sono di gran lunga troppo difficili per essere risolti), anche in condizioni di perfetta quiete reciproca e senza che tra di loro avvenga alcun contatto, esercitano l'uno sull'altro una forza di attrazione che è dipendente dalle loro masse e dalla distanza che li separa. La formula matematica precisa è

$F = (m_1 \times m_2 \times G) : d^2$, dove F(=forza di gravità) è la forza esercitata tra i due, m_1 ed m_2 sono le masse dei due corpi, G è una costante (chiamata Costante Universale: in questa formula ha soltanto il significato di un numero estremamente piccolo che deve essere moltiplicato per gli altri) e d^2 è il quadrato della distanza tra i due corpi. Il significato fisico della formula non è affatto difficile da capire:

- la forza F è sempre positiva (e quindi attrattiva), essendo tutti i termini dell'equazione positivi;

- maggiori sono le masse dei due corpi, maggiore è F, la forza di attrazione reciproca;

- maggiore è d, minore è F.

Come già detto questa legge è *universale*, e si applica a tutti i corpi esistenti. Vale a dire che anche la penna con cui scriviamo esercita una forza di attrazione nei nostri confronti e nei confronti del resto degli oggetti della stanza, solo che essendo molto piccole queste masse la forza F risultante è infinitesimamente piccola ed i suoi effetti sono perfettamente inosservabili. Per i corpi celesti ovviamente gli effetti della forza di gravità sono più vistosi, basti pensare alla forza di attrazione esercitata dalla massa terrestre: ogni corpo a livello del suolo è attirato verso il centro di massa del nostro pianeta, subendo un'accelerazione costante di $1g(=9,8m/s^2)$. Per quanto riguarda gli altri pianeti, il Sole e le altre stelle il fenomeno è esattamente lo stesso: la forza che costringe la Luna a girare attorno alla Terra, la Terra attorno al Sole, il Sole attorno al centro della Via Lattea e la Via Lattea intorno a chissà che cosa, e sempre e comunque la forza di gravità.

Ci si potrebbe chiedere perchè se il Sole attira la Terra i due corpi non si spostino l'uno verso l'altro fino a collidere, mentre invece come risaputo la Terra percorre un'orbita quasi circolare intorno al Sole nell'arco di 365 e rotti giorni. Infatti se consideriamo tutti gli altri oggetti fisici sulla superficie terrestre, vediamo che se lasciati liberi cadono al suolo più o meno perpendicolarmente. La ragione è che una mela che cade da un albero, rispetto alla superficie della Terra, è sottoposta solamente all'azione della forza di gravità mentre un pianeta che rivoluziona attorno ad una stella è sottoposto sia alla forza di gravità, sia alla forza centrifuga conseguente al suo moto. Un motociclista che affronta una curva a gomito ad alta velocità assume rispetto al terreno un'inclinazione tale per cui il suo baricentro viene a cadere fuori dalla verticale; eppure resta in equilibrio perchè la forza di gravità che (agendo sul baricentro) tenderebbe a farlo cadere è contrastata dalla forza centrifuga che tende a raddrizzarlo sulla verticale. Per i pianeti il fenomeno è lo stesso: maggiore è la massa della stella e minore la loro distanza da questa (quindi maggiore è F), più veloci corrono sulla loro orbita, e maggiore è la forza centrifuga derivante da questo moto; la verità di questo fenomeno è lampante se si

consulta una qualche tabella riportante i periodi di rivoluzione dei pianeti del Sistema Solare. Nel caso di una mela che cade dall'albero, nonostante la sua massa sia esigua e la distanza dalla terra molto piccola, è tuttavia possibile che essa non cada al suolo, se la si dota di una sufficiente velocità trasversale al terreno (chiamata *prima velocità cosmica*); con pochi conti si vede che questa dovrebbe essere pari ad almeno 8 chilometri al secondo, una velocità non raggiunta nemmeno dai più moderni jet supersonici. In questo caso la mela diventerebbe un satellite terrestre.

Si dice spesso (l'ho appena affermato anch'io) che la Luna gira intorno alla Terra, che i pianeti girano intorno al Sole, ecc... in realtà è un'imprecisione. A rigore bisognerebbe affermare che i due corpi ruotano attorno al comune baricentro del sistema, con velocità ed a distanze dipendenti dalle loro masse. Il baricentro di un sistema è un punto ideale nel quale si potrebbe considerare condensata tutta la massa delle singole parti; per calcolarne la posizione nello spazio rispetto al corpo di massa maggiore esiste una formuletta che particolarizzata al caso di due corpi diventa:

$\mathbf{x}_1 = \mathbf{d}[\mathbf{m}_2 : (\mathbf{m}_1 + \mathbf{m}_2)]$, dove m_2 è la massa minore del sistema, e d è la distanza tra i due corpi. Se si sostituisce ai simboli i valori ottenuti ad esempio per la Terra e per la Luna, si scopre che in realtà entrambe ruotano attorno ad un baricentro collocato sempre all'interno del nostro pianeta, ma non più coincidente con il centro della Terra, ma spostato di circa quattromila chilometri rispetto ad esso.

Per farsi una semplice rappresentazione del fenomeno si può fare il seguente esempio. Se si lega un sasso ad una corda, e si cerca di metterlo in rotazione mulinando l'altro capo, si noterà che la propria mano descriverà anch'essa una circonferenza nello spazio, tanto più grande quanto maggiore sarà la massa del sasso; se la massa del corpo orbitante (sia il sasso, la Luna o la Terra) è trascurabile rispetto al corpo di massa maggiore, si ha che la circonferenza descritta da quest'ultimo è estremamente piccola (infatti l'orbita che la Terra descrive intorno al baricentro Luna-Terra, è di poche decine di migliaia di chilometri, in confronto ai quasi due milioni di chilometri descritti dal nostro satellite).

Non resta che capire perchè tutti i corpi celesti che vediamo orbitare attorno ad un baricentro abbiano potuto acquisire la forza centrifuga sufficiente per sottrarsi alla gravità: come ha potuto ad esempio la Terra ottenere quella velocità orizzontale che le permette ancor oggi di non precipitare verso il Sole? Le risposte possono essere diverse, e dipendono tutte dal modello teorico che assumiamo per la formazione del nostro Sistema Solare. Probabilmente la nube primordiale collassando ha favorito l'esistenza di moti spirali verso il centro, dai quali si sono originate le traiettorie che noi oggi osserviamo, in seguito anche all'azione di diverse forze di attrito. Oppure noi oggi osserviamo solamente quei pochi corpi celesti che per ragioni esclusivamente probabilistiche hanno assunto delle velocità orizzontali rispetto al Sole, mentre il resto del materiale è caduto più o meno direttamente verso il centro.

Tutto questo lungo discorso per arrivare a definire il cosiddetto campo gravitazionale. Pur conoscendo quale fosse l'espressione della legge di Gravitazione Universale, fino agli inizi di questo secolo non si era riusciti ancora a comprendere quale fosse il suo significato profondo, perchè dovessero esistere questa strana forza a distanza, agente anche nel vuoto più totale quale è quello dello spazio.

La ragione è stata intuita da Einstein (e da chi altri, altrimenti?), e dimostrata nella Relatività Generale. Il fatto è che ogni massa distribuita nello spazio in qualche modo lo deforma (anche se lo spazio è vuoto, si badi bene!), incurvandolo in tutte e tre le dimensioni. Dal momento che non è affatto semplice immaginarsi uno spazio a 4 dimensioni curvo (la quarta dimensione da immaginarsi sarebbe quella del tempo) si può ricorrere ad un'analogia.

Immaginiamo un materasso a molle perfettamente liscio; se sopra non ci appoggiamo nulla, il materasso sarà un piano perfetto. Ma appena ci poniamo sopra un oggetto pesante, ad esempio un palla da bowling, vediamo che il piano si deforma e si incurva nelle due dimensioni. Se provassimo a collocarvi vicino qualche altro oggetto dalla massa minore, ad esempio una palla da biliardo, vedremmo che anche questa deforma leggermente la superficie del materasso, però finisce per cadere nella conca formata dalla palla da bowling, spostando quest'ultima di una quantità invece quasi impercettibile. Se invece collocassimo vicine due palle da bowling di massa uguale, osserveremmo che entrambe deformerebbero il materasso, si avvicinerebbero entrambe l'una all'altra e finirebbero per collidere. Questo perchè il baricentro del loro sistema sarebbe esattamente a metà strada tra le due.

Analogamente un corpo nel vuoto deforma lo spazio tempo e crea una specie di concavità che fa progressivamente rotolare verso di sé qualsiasi corpo sia nelle vicinanze, anche senza che ci sia alcun contatto. Questa enorme concavità che si propaga nello spazio è il campo gravitazionale, e nessun oggetto che vi cada all'interno può restarne inalterato. E' senz'altro possibile che questo oggetto non cada fino al fondo della concavità; questo accade per i pianeti ed i satelliti, come già visto, grazie alla forza centrifuga dovuta ad una spinta iniziale, ma accade anche con gli Shuttle, ad esempio, che grazie alla spinta costante dei razzi propulsori riescono in qualche ora a sottrarsi quasi completamente dal campo gravitazionale della Terra (restando però immersi in quello solare).

Ogni stella, ogni ammasso ed ogni galassia che vediamo in cielo ha un suo campo gravitazionale, ed a sua volta è sottoposta al campo gravitazionale degli oggetti vicini.

L'esistenza di queste forze a distanza, per così dire invisibili, ci è costantemente sotto gli occhi, la possiamo riscontrare in qualunque foto di ammassi o galassie: come spiegare altrimenti l'aggregazione di stelle distanti tra di loro anni luce o decine di anni luce?

Franco Vazza