



Domenico Maisto

RELAZIONE

Titolo: **”LA FISICA DEI SUPEREROI”**

Autore: **JAMES KAKALIOS**
docente di Fisica all’Università del Minnesota

Traduttore: Lilli Lorenzo

Editore: Einaudi

Prezzo €16.50

Anno di pubblicazione 2005

INTRODUZIONE

Nel 1998 all'Università del Minnesota furono introdotti i "seminari per matricole", corsi brevi su argomenti originali aperti agli studenti appena iscritti. Nel 2001 Kakalios, insegnante di Fisica presso tale Università, introdusse il corso "Tutto ciò che so della scienza l'ho imparato dai fumetti", un corso di fisica dove gli esempi sono tratti dalle avventure dei supereroi, non facendo più riferimento a molle, blocchi che scivolano su un piano inclinato, rendendo così lo studio della Fisica più piacevole. L'idea di tale corso è nata dal fatto che gli allievi di fronte agli esempi classici si lamentavano della loro poca utilità nel mondo reale.

"Un trucco che ho scoperto insegnando fisica,(racconta l'autore nel capitolo introduttivo) consiste nell'usare esempi tratti dai fumetti di supereroi che illustrino correttamente le varie applicazioni tratte dai principi della fisica. Stranamente, gli studenti che di solito si lamentano perché le lezioni di fisica sono troppo lontane dall'esperienza quotidiana, di fronte all'uso dei supereroi ritrovano interesse".

SCHEMA DELL'OPERA

Il libro si divide in quattro parti, nella prima parte l'autore si occupa della Meccanica, nella seconda dell'Energia, del Calore e della Luce, nella terza della Fisica moderna, nella quarta traccia una conclusione, soffermandosi sugli errori più simpatici nascosti nei fumetti.

Non ci sono calcoli matematici complicati, ma per Kakalios basta sapere che $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$

Prima di affrontare i vari argomenti Kakalios presenta una breve storia dei fumetti

PRIMA PARTE: LA MECCANICA

Il primo supereroe preso in considerazione è Kal-El, alias Superman, figlio dello scienziato Jor-El del pianeta Krypton. Clark è nato su un pianeta con un'accelerazione di gravità molto maggiore di quella terrestre e quindi ha sviluppato dei muscoli che gli permettono di compiere gesti atletici che per gli umani sono impossibili.

Nei primi anni come personaggio dei fumetti Superman non era in grado di volare ma solo di superare i grattacieli (alti 200m) con un solo salto.

Quale velocità deve avere il supereroe per arrivare con un solo salto ad un'altezza di 200m?

Superman per saltare così in alto deve vincere la forza di gravità. Grazie ai suoi muscoli esercita sul terreno una forza maggiore del suo peso e per il terzo principio della dinamica il terreno esercita su di esso una forza uguale ed opposta che lo spinge verso l'alto. Quando Superman salta la forza peso si oppone al moto rallentandolo e quando raggiunge la cima del grattacielo la sua velocità è nulla.

Sapendo che per il moto uniformemente accelerato $s = \frac{1}{2}gt^2$ e $v=gt$, eliminando il tempo si ha $v^2=2gh$. Applicando tale formula si ottiene che $v_0=62\text{m/s}=225\text{Km/h}$.

Supponendo che il tempo impiegato da Superman per spingere sul suolo con i muscoli delle gambe è di $\frac{1}{4}$ s, la sua accelerazione è

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{62\text{m/s}}{\frac{1}{4}\text{s}} = 250 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Se Superman ha una massa di 100kg, la forza per farlo saltare è $F=ma$ ossia

$$F=100\text{kg} \cdot 250 \text{ m/s}^2 = 25.000\text{N},$$

cioè circa 5600 libbre (negli Stati Uniti la massa si misura in libbre, il fattore di conversione è $1\text{Kg}=2,2$ libbre).

I muscoli del supereroe riescono ad esercitare sul terreno una forza di 5600 libbre perché Superman è nato su un pianeta con una gravità molto maggiore della Terra.

Se supponiamo che la forza esercitata sul suolo sia il 70% in più del suo peso su Krypton si ha che la gravità di Krypton è 15 volte quella della Terra, infatti

$$25000N = P_{\text{krypton}} + 70\% P_{\text{krypton}} = \frac{170}{100} P_{\text{krypton}}$$

$$P_{\text{krypton}} = 25000N \frac{100}{170} = 14706N$$

La massa non dipende dal pianeta quindi $m = 100\text{kg}$

$$\frac{P_{\text{krypton}}}{P_{\text{terra}}} = \frac{14706N}{980N} = 15$$

$$\frac{g_{\text{krypton}}}{g_{\text{terra}}} = 15$$

Per la legge gravitazionale universale di Newton $F = G \frac{M_1 M_2}{d^2}$ due masse si attraggono con una forza F la cui intensità è direttamente proporzionale al prodotto delle masse ed inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza d .

Applicando la seconda legge della dinamica si ha .

$$F = G \frac{M_1 M_2}{d^2} = M_2 g$$

$$g = G \frac{M_1}{d^2} \text{ (formula per calcolare l'accelerazione)}$$

Una conseguenza della legge gravitazionale universale è che i pianeti sono sferici infatti per i corpi sferici sia l'area A che il volume V dipendono dal raggio ($A = 4\pi r^2$; $V = \frac{4}{3}\pi r^3$).

Partendo dal fatto che $g_{\text{krypton}} = 15g_{\text{Terra}}$, si ha che

$$g_{\text{Krypton}} = \frac{GM_{\text{Krypton}}}{R_{\text{Krypton}}^2}$$

essendo $M = dV$ (densità per volume) si ha

$$g_{\text{Krypton}} = \frac{Gd_{\text{Krypton}} V}{R_{\text{Krypton}}^2}$$

$$\text{Analogamente per la Terra } g_{\text{Terra}} = \frac{GM_{\text{Terra}}}{R_{\text{Terra}}^2} = \frac{Gd_{\text{Terra}} V}{R_{\text{Terra}}^2}.$$

Si ha quindi che

$$\begin{aligned} \frac{g_{\text{Krypton}}}{g_{\text{Terra}}} &= \frac{\frac{Gd_{\text{Krypton}} V_{\text{Krypton}}}{R_{\text{Krypton}}^2}}{\frac{Gd_{\text{Terra}} V_{\text{Terra}}}{R_{\text{Terra}}^2}} = \text{(ricordando che } V = \frac{4}{3}\pi R^3) \\ &= \frac{d_{\text{Krypton}} R_{\text{Krypton}}}{d_{\text{Terra}} R_{\text{Terra}}} = 15 \end{aligned}$$

Da tale uguaglianza si deduce che Se Krypton fosse grande quanto la Terra ossia stesso raggio, dovrebbe avere una densità 15 volte maggiore, la densità media della Terra è di 5g/cm^3 quindi la densità di Krypton dovrebbe essere 75g/cm^3 , ma in natura non esistono corpi di tale densità.

Se Krypton avesse un raggio 15 volte maggiore di quello terrestre non potrebbe essere un pianeta terrestre ma uno gassoso. Tali pianeti sono i più grandi e lontani dal Sole e sono composti soprattutto da gas e su di essi la vita è impossibile.

La diversa accelerazione di gravità viene spiegata da Kakalios esaminando il ciclo delle stelle.

In ogni stella avvengono processi nucleari che equilibrano la forza di gravità. Quando tali processi vengono meno la stella scoppia dando origine ad una supernova. Nelle stelle molto grandi la forza di gravità comprime protoni ed elettroni con i neutroni che vengono schiacciati fino a toccarsi, diventando un solido composto da materia nucleare. I residui di queste stelle enormi sono detti stelle di neutroni e la loro densità è seconda solo a quella dei buchi neri (derivati dalla morte di stelle più grandi, la cui attrazione gravitazionale è così forte che nemmeno la luce le può sfuggire). Sulla Terra, un cucchiaino di stella di neutroni peserebbe più di cento milioni di tonnellate.

Krypton, avendo una densità 15 volte quella terrestre, deve avere nel proprio centro il nucleo di una stella di neutroni e ciò spiega perché è esplosivo.

Nel 1961 nascono i fantastici quattro, questi nuovi supereroi non provengono da altri pianeti ma sono terrestri che per una fatalità acquistano dei superpoteri.

Uno dei più importanti eroi della Marvel Comics è Peter Parkers, alias Spider-Man, l'uomo ragno. Goblin un suo acerrimo nemico, scoperta la vera identità di Spider-Man lo ricatta rapendo la sua fidanzata Gwen Stacy. Goblin porta la ragazza sul ponte Washington e la fa cadere. All'ultimo momento Peter afferra la ragazza con la tela evitando che finisca nel fiume sottostante, riportandola in cima al ponte, si accorge che la ragazza è morta.

Da qui nasce la questione: chi ha ucciso Gwen?

Per rispondere a tale quesito Kakalios introduce il concetto di impulso di una forza.

Per calcolare la velocità con cui cade la ragazza applichiamo la formula $v^2 = 2gh$. Supponendo che la tela prenda la ragazza dopo una caduta di circa 90m, si ha $v=150\text{km/h}$. Per fermare la ragazza c'è bisogno di una forza esterna F che è data dalla tela del ragno. Per il 2° principio della dinamica $F=ma$, moltiplicando entrambi i membri per t si ha $Ft = mat$. Ricordando che $Ft=I$ (impulso di una forza) e che $at = \Delta v$ si ha $I = m\Delta v$ cioè l'impulso di una forza è uguale alla variazione della quantità di moto $p=mv$.

L'uomo ragno ha a disposizione un tempo molto breve per fermare la caduta della ragazza, quindi deve applicare una forza molto intensa, supponendo che la fermi in 0,5s e che la massa della ragazza sia di 50kg e la variazione di velocità $\Delta v = 150 \text{ km/h}$, la forza esercitata dalla ragnatela

sulla ragazza è $F = \frac{m\Delta v}{t} = 4167\text{N}$ cioè una forza circa 10 volte il peso della ragazza ($P=50*9.8\text{N}=490\text{N}$), che pertanto ha determinato la morte di Gwen per la rottura del collo.

Nel capitolo quinto il supereroe è Berry Allen, alias Flash i cui autori sono John Broome, Kanigher e Garden Fox.

Berry ha il dono della supervelocità che gli permette di correre lungo le pareti dei palazzi, sulla superficie dell'oceano, afferrare dei proiettili in volo e trascinare persone e cose dietro di sé.

Kakalios spiega come tutte queste imprese siano coerenti con le leggi della fisica.

Il primo punto analizzato è se Flash può mantenere la trazione necessaria a correre effettivamente in verticale lungo le pareti del grattacielo.

L'atto del camminare è legato alla terza legge della dinamica. Quando camminiamo i nostri piedi applicano una forza orizzontale sul terreno nella direzione opposta a quella in cui vogliamo muoverci. Il terreno esercita su di noi una forza uguale ed opposta. L'origine di tale forza è l'attrito. L'attrito è una forza che si oppone al moto e si sviluppa ogni volta che due corpi sono in contatto. Due superfici apparentemente lisce messe a contatto aderiscono, grazie alla forza di attrito, infatti la disposizione degli atomi è tale da far apparire la materia come una catena montuosa. La forza d'attrito dipende dalla forza premente, maggiore è tale forza maggiore è l'attrito. Se un corpo scivola su un piano orizzontale la forza premente è il suo peso P e la forza d'attrito è $F_a = \mu P$, lungo un piano inclinato la forza premente è la componente del peso perpendicolare al piano e pertanto l'attrito è minore, infatti gli egizi per trasportare oggetti pesanti usavano superfici inclinate.

Flash non può correre su superfici verticali perché su di esse non c'è attrito essendo la forza premente nulla. In particolare Flash mentre salta può muovere i piedi avanti e indietro contro la parete dell'edificio in questo modo da l'impressione di correre. In genere Flash quando corre spinge con un piede sul terreno inclinandosi rispetto alla superficie stradale, così la strada (per il terzo principio della dinamica) esercita su di lui una forza inclinata rispetto alla superficie. Flash quindi accelera sia in verticale che in orizzontale, la velocità verticale lo fa rimbalzare sul terreno, la componente orizzontale lo spinge nella direzione della corsa. Maggiore è la velocità verticale più in alto rimbalza, maggiore è quella orizzontale più lontano arriva prima che la gravità superi la velocità verticale e lo riporta a terra. La forza che permette la rotazione di 90° gradi è data dall'attrito tra gli stivaletti di Flash e il terreno.

Kakalios riprende il concetto di viscosità, cioè la resistenza di un fluido allo scorrimento, per spiegare perché Flash può correre sull'acqua.

Flash corre ad una velocità prossima a quella della luce. L'acqua ha una densità molto maggiore dell'aria e le molecole sono molto vicine mentre tra quelle dell'aria c'è molto spazio.

Quando Flash corre riesce a spostare molecole d'aria formando un fronte d'urto, invece quando corre sull'acqua la sua velocità è maggiore del tempo di reazione delle molecole, pertanto l'acqua non riesce a spostarsi e forma un fronte d'urto agendo come un solido sotto i piedi di Flash.

Un'altra conseguenza dell'elevata velocità con cui Flash si muove è data dal fatto che non si riesce a comunicare con lui.

Il suono è un'onda elastica che si propaga in un mezzo elastico l'aria ad una velocità di 335m/s.

La distanza tra zone compresse è detta lunghezza d'onda ed è legata all'altezza del suono: le lunghezze d'onda maggiori hanno altezza minore e viceversa.

Quando Flash corre crea lunghezze d'onda minori e il suono ha un'altezza maggiore creando un boom sonico che non permette a Flash di sentire.

Anche la tecnica con cui Flash riesce a prendere i proiettili è coerente con le leggi della fisica.

Flash riesce ad afferrare dei proiettili in volo perché può correre alla stessa velocità del proiettile e quindi non c'è variazione di velocità e quindi di quantità di moto e per il teorema dell'impulso la forza è nulla.

Che cos' è il boom sonico?

Immaginiamo che Flash ci stia venendo incontro a grande velocità da una distanza di 16 km e che ci raggiunga in 50 s. Supponiamo che a 16 km Flash dica "Flash" e che a 8 km dica "vinca".

Se Flash viaggia ad una velocità inferiore a quella del suono (330m/s) sentiremo "Flash Vince", se viaggia ad una velocità maggiore di quella del suono sentiremo "vince Flash" perché il suono emesso a 8 km arriverà prima, se viaggia alla velocità del suono sentiremo un frastuono perché i suoi si sovrappongono.

Cosa accade se Flash viaggia alla velocità della luce ($c=300.000\text{km/s}$)?

In base alla relatività di Einstein ai corpi che viaggiano a tale velocità accadono cose strane come la dilatazione del tempo e la contrazione della lunghezza.

La relatività ristretta, elaborata da Einstein nel 1905, nasce per eliminare le contraddizioni esistenti tra la meccanica newtoniana e le leggi sull'elettromagnetismo elaborate da Maxwell, in particolare per i corpi che si muovono con velocità prossima a quella della luce la relatività galileiana non è più verificata. I due postulati della relatività ristretta sono:

- 1) Le leggi della fisica sono le stesse in tutti i sistema di riferimento.
- 2) La velocità della luce nel vuoto è di 300.000km/s in tutti i sistemi di riferimento inerziali indipendentemente dal moto della sorgente rispetto all'osservatore.

Poiché Flash corre sempre più veloce si potrebbe pensare che debba essere in grado di superare la velocità della luce ma non è così.

Per il secondo principio della dinamica $F=ma$, se la forza applicata alle sue scarpe è costante dovrebbe essere costante l'accelerazione e la sua velocità dovrebbe prima raggiungere e poi superare la velocità della luce.

Einstein per superare questa incoerenza e nello stesso tempo mantenere valida la legge di Newton parte dall'equazione $Ft=\Delta mv$, che è la seconda legge di Newton considerando però la massa variabile e non più costante. La massa aumenta con la velocità e quindi aumenta l'inerzia che il corpo oppone all'aumento di velocità.

Il risultato più celebre della relatività è l'equivalenza tra massa ed energia: ogni corpo possiede, nel sistema di riferimento in cui è in quiete un'energia $E_0=m_0c^2$ dove m_0 è la massa a riposo cioè la massa nel sistema di riferimento in cui il corpo è fermo e c è la velocità della luce. Se il corpo si muove a velocità v l'energia totale (data dalla somma dell'energia cinetica e dell'energia a riposo) è $E=mc^2$ dove m è la massa del corpo in movimento.

Nel settimo capitolo viene presentato Henry Pym, alias Ant-Man, scienziato che si occupa della ricerca di un siero riducente.

Il problema posto è se fisicamente è possibile la miniaturizzazione.

Tenendo presente la struttura dell'atomo tre sono i possibili modi per rimpicciolire una persona:

1) rimpicciolire gli atomi 2) togliere una parte di atomi 3) avvicinare gli atomi tra loro.

Il primo modo non è realizzabile perché il diametro di un atomo è data dalla distanza a cui gli elettroni ruotano intorno al nucleo. La distanza a cui si ha più probabilità di trovare elettroni è legata al raggio dell'atomo che dipende dalla massa dell'elettrone, dalla sua carica elettrica, dal numero di cariche positive nel nucleo e da una costante detta costante di Planck, quindi la grandezza di un atomo è determinata da una serie di costanti e non può essere cambiata.

Anche la seconda possibilità è impossibile, perché togliendo atomi da organismi complessi verranno sicuramente danneggiate le funzioni biologiche dell'organismo.

Anche avvicinare gli atomi è impossibile infatti avvicinarli comporterebbe un aumento di densità e in particolare nei corpi solidi gli atomi sono già molto compressi e avvicinarli significherebbe avvicinare gli elettroni che, avendo la stessa carica, si allontanerebbero.

Quando Ant-Man è rimpicciolito deve affrontare una serie di problemi:

1. avendo una falcata di pochi millimetri ha difficoltà a spostarsi pertanto usa una molla per spostarsi che comprime con il suo peso e grazie alla forza di richiamo viene spinto a grande velocità;

2. per attutire la caduta riesce a far formare alle formiche un tappeto su cui cade, l'energia cinetica si distribuisce, in questo modo, su tutte le formiche.

Ricordando che la nostra forza ha origine dai muscoli e dalle strutture dello scheletro Kakalios spiega poi come Ant-Man riesce ad uscire da un sacchetto dell'aspirapolvere.

Il nostro braccio è una leva di terzo genere e quindi svantaggiosa. La potenza è costituita dalla compressione del bicipite, la mano che solleva è la resistenza, il gomito è il fulcro.

Il bicipite applica una forza di trazione, circa 5 cm davanti al gomito, mentre l'avambraccio è lungo 35 cm, quindi il braccio della potenza è 5cm, quello della resistenza 35 cm, il rapporto tra i due bracci è di 1 a 7.

Per sollevare una pietra di 10kg il bicipite produce una forza 7 volte superiore al suo peso.

Questo rapporto vale anche quando vogliamo liberarci del sasso, pertanto il nostro braccio non è destinato a sollevare grandi pietre ma a lanciarne di più a grandi velocità.

Quando Ant-Man è intrappolato nel sacco dell'aspirapolvere, anche se tutte le dimensioni sono rimpicciolite vale sempre il rapporto 1 a 7.

La forza erogata dai suoi muscoli dipende dalla superficie, minore è la superficie minore è la forza, ma la pressione, definita come rapporto tra forza e superficie, è uguale sia quando il supereroe è ad altezza normale che quando è rimpicciolito. Quindi Ant-Man può uscire con un pugno dal sacchetto.

Ant-Man quando si rimpicciolisce ha problemi nel comunicare.

Le corde vocali sono degli oscillatori armonici, come il pendolo. Quando Ant-Man si rimpicciolisce anche le sue corde vocali si riducono e quindi cambia il periodo di oscillazione(il periodo

$=T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ l lunghezza filo, g accelerazione gravità), anche la frequenza f cambia ($f = \frac{1}{T}$), in

particolare aumenta e quindi il suono emesso dalle sue corde avendo una frequenza maggiore, è molto acuto. Analogamente il rimpicciolimento diminuisce anche i timpani e quindi varia anche la frequenza dei suoni che sono in grado di percepire.

Un'altra difficoltà legata alla riduzione è la visione sfuocata. La luce passa facilmente attraverso un foro di diametro molto maggiore della sua lunghezza d'onda. Quando Ant-Man si rimpicciolisce anche il diametro della sua pupilla si rimpicciolisce e la luce entra con fatica, l'immagine risulta indistinta e sfocata.

Nel numero 49 di " Tales to Astonish" Ant-Man scopre la versione inversa del suo siero riducente con cui riesce a diventare più alto, nasce così Giant-Man.

Essere più alti del normale comporta una serie di problemi.

La pupilla troppo dilatata fa entrare molta luce e quindi occorre indossare degli occhiali protettivi per non sovraccaricare i nervi ottici.

Inoltre c'è un limite fondamentale alle dimensioni che si possono raggiungere. La densità è $d = \frac{m}{V}$, è costante quindi aumentando il volume aumenta anche la massa quindi il peso, ma le nostre ossa non riuscirebbero a supportarlo e si romperebbero.

Ritornando all'uomo ragno viene affrontato il problema del perché egli non può saltare come un ragno.

I ragni sono in grado di saltare 500 volte in più delle loro dimensioni e, quindi, l'uomo ragno che è alto $h=1,80\text{m}$ dovrebbe saltare 900m , ma non è così. La forza erogata dai nostri muscoli sul suolo e la nostra massa determinano l'accelerazione che possiamo avere quando ci solleviamo da terra.

Per il secondo principio della dinamica, $F=ma$, la massa e l'accelerazione sono inversamente proporzionale, ad una massa maggiore corrisponde un'accelerazione minore. Il ragno è in grado di saltare molto in alto avendo una massa molto piccola. Analogamente le pulci che hanno anche una forma aerodinamica tale da vincere l'attrito dell'aria e le loro zampe posteriori sono lunghe e funzionano come leve che gli permettono di saltare molto in alto.

Seconda parte: energia calore e luce.

Il supereroe è ancora Flash che per correre velocemente ha bisogno di energia. Il concetto di energia è legato al concetto di lavoro. Il lavoro compiuto da una forza è dato dal prodotto scalare tra la forza e lo spostamento, ossia $L = Fs \cos \alpha$, F è la forza, s è lo spostamento, α è l'ampiezza dell'angolo che i due vettori formano. Un corpo possiede energia quando è in grado di compiere lavoro.

Un corpo di massa m , che è situato ad una certa altezza h , possiede energia potenziale gravitazionale $E_p = mgh$, tale energia è uguale al lavoro compiuto dalla forza peso per far cadere il corpo. Quando il corpo cade possiede una certa velocità v che aumenta man mano che cade, (essendo il moto uniformemente accelerato), quindi il corpo cadendo acquista energia cinetica $E = \frac{1}{2}mv^2$. Durante la caduta l'energia si trasforma da potenziale a cinetica.

Quando Flash corre possiede un'elevata energia cinetica, se la massa è 70kg e la $v = 3 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ la sua

energia cinetica è $E = \frac{1}{2}mv^2 = 315$ trilioni Joule, ricordando che 1caloria= 4,186joule,(caloria è la quantità di energia che bisogna fornire ad 1g d'acqua per innalzare la temperatura di 1 °C) Flash possiede 75 trilioni di calorie, quindi per correre così velocemente la dieta alimentare di Flash deve essere di 75trilioni di calorie.

Quando noi mangiamo acquisiamo energia che non è né cinetica né potenziale ma è l'energia potenziale racchiusa nei legami chimici degli alimenti.

Per l'energia vale il principio di conservazione, quindi essa non può essere né creata né distrutta ma solo convertita da una forma all'altra. Quando Flash corre consuma energia a livello cellulare per estendere e contrarre i muscoli delle gambe. L'energia cellulare proviene dal cibo che mangia. Il cibo durante la digestione viene ridotto in parti piccolissime e l'energia dei legami viene racchiusa negli zuccheri, i mitocondri formano poi le molecole di ATP che trasportano e rilasciano energia.

Per poter rompere i legami chimici c'è bisogno di ossigeno che immettiamo nell'organismo mediante la respirazione. Per correre alla sua velocità Flash ha bisogno di molto ossigeno, se pesa 70kg userà 20 l di ossigeno a una velocità di 16 km/s, inalando un trilione di trilione di ossigeno.

La termodinamica, che si è sviluppata nell'800, è la parte della fisica che si occupa del calore e delle sue trasformazioni. Si basa su tre principi:

1. il primo principio della termodinamica altro non è che il principio di conservazione dell'energia,
2. il secondo principio regola le trasformazioni di calore in lavoro, evidenziando come in questo tipo di trasformazione c'è sempre uno scarto cioè parte del calore non viene

convertito in lavoro utile ma dissipato. Tale principio spiega anche il verso spontaneo in cui fluisce il calore, cioè esso spontaneamente passa da un corpo caldo a un corpo freddo.

Il frigorifero non contraddice tale principio perché per funzionare ha bisogno del motore elettrico, quindi il passaggio di calore dall'interno del frigo (ambiente freddo) all'esterno (ambiente caldo) non è spontaneo. Se lasciamo aperta la porta del frigo in funzione la cucina si riscalderà perché il calore ceduto all'ambiente è maggiore di quello sottratto dall'interno del frigo.

3. Il terzo principio è legato all'entropia. L'entropia di un sistema è connessa all'energia interna dei costituenti il sistema e quindi è la misura del loro movimento casuale. Il terzo principio della termodinamica afferma che l'entropia è zero solo allo zero assoluto cioè alla temperatura $T=0K$ in cui le particelle sono ferme.

Il calore è una forma di energia che passa spontaneamente ad un corpo a temperatura maggiore a uno a temperatura minore, fino a quando i due corpi non raggiungono la stessa temperatura (equilibrio termico).

I modi con cui il calore si può propagare sono: la conduzione, l'irraggiamento e la convezione. La conduzione avviene quando due corpi solidi vengono in contatto, il corpo più caldo, avendo un'agitazione interna maggiore, le particelle sono più veloci e urtano le particelle più lente del corpo a temperatura minore. L'energia si ridistribuisce e i corpi raggiungono la stessa temperatura. Dal punto di vista della conduzione i corpi si dividono in isolanti e conduttori, nei conduttori il calore passa facilmente, esempi di buoni conduttori sono i metalli.

La convezione si ha nei liquidi, quando questi vengono riscaldati dal basso. La parte di liquido a contatto con la fonte di calore si riscalda e diventa meno densa ed è spinta verso l'alto, mentre masse di liquido freddo sono spinte verso il basso. Tale meccanismo di propagazione comporta sempre uno spostamento della materia. L'irraggiamento è caratteristico delle onde elettromagnetiche che si propagano trasportando energia. Tale propagazione avviene anche nel vuoto.

Il calore è importante anche nei cambiamenti di fase della materia.

La materia si presenta allo stato solido, allo stato liquido e allo stato aeriforme.

Nello stato solido i legami tra le particelle sono forti e l'agitazione interna molto debole, le particelle possono solo oscillare.

Nello stato liquido i legami sono più deboli e le particelle possono scorrere le une sulle altre.

Nello stato gassoso i legami sono debolissimi e le particelle sono libere di muoversi in tutte le direzioni.

Per passare da uno stato all'altro la materia deve scambiare calore e portarsi ad una data temperatura detta temperatura critica, che dipende anche dalla pressione. A tale temperatura il

calore, che prende il nome di calore latente, serve a rompere (o rafforzare) i legami e permettere il cambiamento di stato.

Nel 1963 apparvero per la prima volta gli X-Man, un gruppo di ragazzi con dei superpoteri. Uno dei ragazzi era Bobby Drake, alias Uomo Ghiaccio.

Bobby ha il potere di abbassare la temperatura dell'ambiente a 0°C in questo modo condensa il vapore acqueo che è presente sempre nell'aria.

Come per il frigorifero, Bobby per raffreddare l'ambiente che lo circonda deve sottrargli calore ma anche cederlo, ma non si sa dove lo deposita.

Il problema fisico che viene posto è la stabilità delle lastre di ghiaccio che Barry crea sotto i suoi piedi per poter scivolare.

La stabilità e quindi l'equilibrio di un corpo è legato al baricentro. Il baricentro è il punto in cui è applicata la forza peso. Nei corpi estesi è il punto in cui si pensa concentrata tutta la massa del corpo. Nei corpi con diversa distribuzione di massa, come per esempio una mazza da baseball, il baricentro è più vicino alla parte larga che non all'impugnatura.

Barry non può estendere troppo le lastre perché potrebbero sgretolarsi. Il problema è analogo all'equilibrio di un libro appoggiato su un tavolo. Il peso del libro è diretto verso terra ed è equilibrato dalla reazione vincolare del piano. Finché il baricentro del libro cade nella superficie d'appoggio, cioè il tavolo, esso è in equilibrio. Se spostiamo il libro al bordo del tavolo, la porzione di libro esterna al tavolo crea una forza, il momento torcente, spostando ulteriormente il libro verso l'esterno il peso non è più equilibrato, prevale la forza esterna (momento torcente) che farà ruotare il libro fino a farlo cadere.

Barry per non far spezzare la lastra dovrebbe rinforzare il lato inferiore delle lastre con dei pilastri di ghiaccio, per evitare di allontanarsi troppo dal baricentro.

Per spiegare le aderenze di Electro Kakalios introduce le forze elettriche. Tali forze si manifestano in presenza di cariche elettriche. In natura esistono due tipi di cariche: la carica positiva e quella negativa. Un atomo si dirà carico positivamente quando il numero dei suoi elettroni è inferiore al numero dei suoi protoni (ha perso qualche elettrone), viceversa se viene acquistato qualche elettrone allora il numero degli elettroni è maggiore e il corpo si dirà carico negativamente.

Tra due corpi carichi si sviluppa una forza che è direttamente proporzionale al prodotto delle cariche, inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza $F = K \frac{\text{carica}_1 \cdot \text{carica}_2}{(\text{dis tan } za)^2}$.

Tale forza è nota come forza di Coulomb e insieme alla forza magnetica, alla gravità, alla forza nucleare forte e alla forza nucleare debole costituisce le quattro forze fondamentali della natura.

Dal punto di vista matematico la forza di Coulomb ha la stessa espressione della forza gravitazionale, cambiano le costanti, la costante k nella legge di Coulomb è molto più grande della costante G nell'equazione di Newton, pertanto su scala atomica la forza di gravità è irrilevante e la materia è tenuta insieme da forze elettrostatiche.

I poteri di Electro sono legati alla capacità di immagazzinare enormi quantità di carica elettrica, o tutta negativa o tutta positiva, all'interno del proprio corpo per poi scaricarla a piacere.

Per spiegare le scariche elettriche che Electro lancia dalle mani, bisogna ricordare che cos'è la corrente elettrica. Per corrente elettrica si intende un movimento ordinato di cariche (elettroni). Gli elettroni sono attratti in una direzione da una tensione (attrazione) positiva e respinti da una tensione negativa. La tensione che attira o respinge le cariche elettriche è una misura della differenza di potenziale, definita come la differenza di energia potenziale che le cariche hanno su un corpo in relazione a un altro. Quindi se tra due punti c'è una differenza di potenziale c'è un movimento di cariche. Quando l'uomo ragno si scontra la prima volta con Electro, riesce a deviare una scarica elettrica lanciatagli contro, gettando una sedia di metallo sopra la testa del suo nemico pensando erroneamente che ogni metallo può fare da parafulmine. La situazione peggiora quando, in un altro episodio, l'uomo ragno si attacca di proposito un filo alla caviglia per essere sicuro di avere sempre una messa a terra (cioè scaricare a terra le cariche di Electro). In questo modo però l'uomo ragno permette a tutta l'energia elettrica del nemico di attraversare il suo corpo. Il culmine dello scontro tra Uomo Ragno e Electro si ha quando Spiderman getta acqua addosso a Electro. L'acqua è un buon conduttore e quindi fa da cavo tra Electro e il terreno consentendo alla carica elettrica accumulata su di lui di passare tutta sul terreno.

Se in una zona dello spazio poniamo una carica elettrica lo spazio si deforma, si crea un campo elettrico che può essere evidenziato ponendo in esso un'altra carica più piccola detta carica di prova sulla quale agisce la forza elettrica.

La carica elettrica crea, ma solo quando è in movimento, un altro campo, detto campo magnetico. Fu questa la scoperta di Oersted, il quale fece passare corrente attraverso un filo metallico e nelle vicinanze mise un ago magnetico, al passaggio della corrente notò che l'ago veniva deviato come se ci fosse in quel posto una calamita.

Quando Electro corre le cariche elettriche in movimento generano un campo magnetico e quindi forza magnetiche capaci di attrarre travi di ferro poste sugli edifici, consentendogli di arrampicarsi sui palazzi o attaccarsi alle auto che passano.

Il perché una corrente elettrica crei un campo magnetico dipende dal moto relativo delle cariche elettriche. Se due cariche si muovono nella stessa direzione alla stessa velocità, dal punto di vista di una delle due l'altra è ferma, l'unica forza esistente tra le cariche è quella elettrostatica. Per una

persona ferma in laboratorio esiste una forza aggiuntiva correlata al movimento, che prende il nome di magnetismo

Se in una zona dello spazio poniamo un magnete si genera un campo magnetico. Come le cariche in movimento generano un campo magnetico così, un campo magnetico in movimento induce una corrente elettrica in un cavo.

Ciò è alla base del vero potere di Magneto che si costruisce un pannello di controllo computerizzato in grado di aumentare i campi che attenuano i poteri degli X-Man.

Per evitare che i suoi avversari possano disattivare il sistema lo programma senza manopole e tasti e lo comanda modificando le correnti elettriche che scorrono nei circuiti, influenzandole attraverso i campi magnetici che creano.

Nel 1826 il fisico scozzese Maxwell collegò l'elettricità e il magnetismo dando origine alla teoria dell'elettromagnetismo sintetizzata nelle note Equazioni di Maxwell che racchiudono le leggi fondamentali dell'elettricità e del magnetismo.

Il leader del gruppo mutante di supereroi è X-Men, telepate in sedia a rotelle, detto anche professore X.

Dal punto di vista fisico la telepatia del Prof X dipende dal fatto che le correnti elettriche variabili nel tempo possono creare onde elettromagnetiche, rilevabili da chi è supersensibile.

Tutte le cellule del nostro corpo hanno una funzione, le cellule nervose o neuroni elaborano le informazioni. Gli oggetti dotati di carica che si muovono da un neurone all'altro sono ioni di sodio, calcio, potassio (gli ioni sono atomi dotati di carica). Gli ioni in movimento generano una corrente che crea un campo magnetico. Effettuando esperimenti con elettrodi sensibili posti all'interno del cervello, i neuro-scienziati sono in grado di rilevare i campi elettrici generati dal movimento di questi ioni.

Quando si crea un'attività elettrica, dal cervello si irradiano onde elettromagnetiche a frequenza molto bassa e quindi è difficile poter osservare la loro intensità (che è troppo debole) a meno che non venga posto un sensore sulla testa di una persona. Ciò spiega perché il Prof X quando deve individuare un mutante molto lontano, utilizza Cerebro, un amplificatore elettronico.

È possibile interpretare e leggere i pensieri degli altri?

Per rispondere Kakalios spiega il funzionamento del televisore.

I segnali televisivi consistono in onde elettromagnetiche inviate da un potente trasmettitore che, colpendo un'antenna su un tetto, induce le cariche ad oscillare con una frequenza e una grandezza caratteristiche del segnale incidente. L'informazione, contenuta nell'onda elettromagnetica, è inviata al televisore il cui nucleo è il tubo catodico. Quest'ultimo è costituito da una grande superficie in vetro su cui viene evaporato un materiale fosforescente che emette un breve lampo di

luce quando è colpito da un elettrone. Questa superficie in vetro si trova su una estremità di una scatola irregolare. Sull'estremità stretta c'è un cavo dal quale vengono liberati elettroni e diretti mediante guide metalliche sulla parte fosforescente. Questo processo continua finché il fascio di elettroni non copre tutto lo schermo. Un gruppo di zone illuminate e scure sullo schermo produce un'immagine sulla superficie del televisore.

Un'antenna sensibile posizionata vicino a questo schermo potrebbe rilevare queste onde elettromagnetiche e con un software adatto ricostruire l'immagine. Con questo metodo si potrebbero inviare informazioni da un cervello all'altro.

LA TERZA PARTE: LA FISICA MODERNA

Nei primi anni del Novecento i fisici scoprirono dei fenomeni che misero in dubbio le certezze acquisite dalla fisica classica. Particolari esperimenti sull'interazione tra luce e materia portarono a ritenere che le onde elettromagnetiche potessero esibire comportamenti simili a particelle. La scoperta più sorprendente fu che anche le particelle possono comportarsi come onde.

In questo modo apparve chiaro che il dualismo onda-corpuscolo è un aspetto essenziale della natura.

Nacque e si sviluppò così una nuova branca della fisica dedicata allo studio dell'infinitamente piccolo: la meccanica quantistica o fisica dei quanti. La meccanica quantistica ha quindi come oggetto di ricerca il comportamento dei più piccoli costituenti della materia come le molecole, gli atomi, gli elettroni, le particelle nucleari e subnucleari.

Nel 1900 il fisico tedesco Planck, studiando l'interazione tra radiazione e materia, introdusse i quanti, pacchetti discreti di energia. L'energia E è data dalla formula

$$E = nfh,$$

dove n è un numero naturale, f la frequenza della radiazione, h la costante di Planck

Nel 1905 Einstein ipotizzò che la luce poteva essere considerata come un insieme di pacchetti di energia, i fotoni, ognuno dei quali ha energia

$$E = hf,$$

h costante di Planck, f frequenza della luce.

Einstein utilizzò l'ipotesi del fotone per spiegare le caratteristiche dell'effetto fotoelettrico (una superficie metallica emette elettroni quando è illuminata da un fascio di luce).

Secondo la teoria classica dell'elettromagnetismo, le radiazioni elettromagnetiche si propagano come un'onda alla velocità della luce (nel vuoto). Secondo la teoria dei quanti, quando esse interagiscono con la materia possono essere considerate come particelle dotate di energia ed impulso. Inoltre anche le particelle dotate di massa sotto alcune condizioni sono dotate di caratteristiche ondulatorie.

La scoperta della natura ondulatoria della materia nacque dall'intuizione di uno studente francese, il marchese L. de Broglie, che nella sua tesi di dottorato ipotizzò l'esistenza di proprietà ondulatorie degli elettroni.

De Broglie riteneva che il moto delle particelle materiali fosse guidato da onde pilota che si propagavano nello spazio insieme alle particelle. Tali onde hanno una lunghezza d'onda

$$\lambda = \frac{h}{q} = \frac{h}{mv} \quad (\text{Relazione di de Broglie})$$

La rivoluzione quantistica avvenne in pochissimi anni e alla ricerca di una matematizzazione di questi fenomeni contribuirono Werner Heisenberg ed Erwin Schrodinger.

L'equazione di Schrodinger è la seconda legge della dinamica ($F=ma$) per gli elettroni e gli atomi. Come la seconda legge di Newton, una volta specificata le forze esterne F , ci permette di determinare l'accelerazione a e quindi la velocità e la posizione dell'oggetto, così l'equazione di Schrodinger, ci permette di calcolare, data l'energia potenziale V dell'elettrone, la probabilità per volume di trovare l'elettrone in un certo punto dello spazio e del tempo. Una volta nota la probabilità che l'elettrone si trovi in un certo punto, si può calcolare poi la sua posizione o la quantità di moto.

L'equazione di Schrodinger permette di calcolare la probabilità che l'elettrone si sposti da una regione di spazio a un'altra. Immaginiamo di trovarci in un campo di pallamano all'aperto, delimitato da una parete su tre lati e un muro di cemento sul quarto. Dall'altra parte del muro si trova un altro campo all'aperto, identico al primo e a sua volta circondato da una rete su tre lati e dallo stesso muro sul quarto. Siamo liberi di andare dove vogliamo all'interno del primo campo, ma non avendo superpoteri, non possiamo saltare al di sopra del muro. Se si risolve l'equazione di Schrodinger in questa situazione si scopre che abbiamo una probabilità alta di trovarci nel primo campo e una bassa, ma diversa da zero di trovarci nel secondo campo (oltre il muro). Si tratta di un fenomeno quantistico, perché secondo la meccanica classica non c'è alcuna possibilità di trovarci nel secondo campo. Questo processo è detto "effetto tunnel". Più velocemente corriamo verso il muro più alta è la probabilità di finire dall'altra parte.

È senza dubbio così che Flash è in grado di usare la sua grande velocità per attraversare gli oggetti solidi.

Famoso è anche l'esperimento del gatto di Schrodinger.

Un gatto viene messo in una stanza, completamente isolata dall'esterno, dove si trova un sofisticato congegno azionato da un evento puramente casuale, l'emissione spontanea di una particella da parte di una sostanza radioattiva.

Per disgrazia del gatto, quando il nucleo radioattivo libera la particella, questa mette in movimento un sistema articolato in grado di rompere un recipiente contenente una dose letale di cianuro.

La meccanica classica e la meccanica quantistica danno due risposte diverse nei riguardi dello stato di salute del gatto.

Da un punto di vista classico l'animale o è completamente vivo o è completamente morto.

Da un punto di vista quantistico i due stati coesistono poiché nell'istante considerato c'è una certa probabilità che la particella sia stata emessa e un'equivalente probabilità che nessuna particella sia andata ad azionare il diabolico meccanismo.

Il gatto si trova in uno stato rappresentato da una simultanea combinazione di vita e di morte, per conoscere in quale stato esso si trovi occorre "osservare", misurare, effettuare la sola operazione che secondo la meccanica quantistica potrà stabilire la buona o la cattiva sorte del gatto.

In base a questa logica, il destino del gatto è determinato solo nell'istante in cui l'osservatore decide di aprire la stanza, perché è allora che o l'uno o l'altro dei due stati, prima entrambi potenzialmente presenti al 50%, è reso reale.

Negli anni successivi allo sviluppo dell'equazione di Schrodinger gli scienziati hanno elaborato tecniche per descrivere come l'onda di materia dell'elettrone interagisce con i campi elettrici e magnetici.

Iron-Man è il supereroe che dimostra il valore dello studio della fisica dello stato solido (la fisica dello stato solido è la più ampia branca della fisica della materia condensata e riguarda lo studio delle proprietà dei solidi, elettroniche, meccaniche, ottiche e magnetiche).

Iron-Man indossa un'armatura high-tech e le sue capacità offensive e difensive sono dovute a dei piccoli transistor nella sua armatura che aumentano la sua forza in modo incredibile.

Il transistor è un dispositivo che permette di regolare l'intensità di corrente che lo attraversa variando i potenziali elettrici applicati alle sue diverse parti. E' usato come amplificatore di segnali o come interruttore.

Tra tutte le armi di Iron Man le più efficaci sono i raggi repulsori e il transistor a cilindro che aumenta di mille volte il potere di repulsione. I transistor a cilindro esistono realmente e si chiamano così perché hanno l'aspetto di piccoli cilindri con alla base un piccolo disco da cui si estendono gli elettrodi.

QUARTA PARTE ERRORI DEI SUPEREROI

Ciclope è uno degli X-Man e il suo dono mutante sono i raggi di forza pura che emette dagli occhi, con i quali riesce a sfondare un muro di cemento e a deviare un masso di due tonnellate in caduta. Una scena fondamentale che manca nei fumetti e nei film degli X-Man è quella in cui la testa di Ciclope, quando emette i raggi, non viene spinta all'indietro.

Per il principio di azione e reazione le forze sono sempre accoppiate, quando Ciclope emette i raggi di forza per sospendere in aria un masso di due tonnellate dovrebbe spingere indietro la sua testa con una forza equivalente, quindi, per il secondo principio della dinamica, dovrebbe subire un'accelerazione superiore di oltre venti volte a quella di gravità e la sua testa dovrebbe muoversi all'indietro di varie centinaia di chilometri. Poiché ciò non accade dobbiamo dedurre che, oltre ai potenti raggi ottici, Ciclope abbia dei muscoli del collo straordinariamente forti.

Un altro errore esaminato è quello del sollevamento di un grattacielo da parte di Superman.

Un grattacielo è molto lungo e quindi il braccio del momento (distanza tra un'estremità e il baricentro) è molto lungo e quindi una qualsiasi leggera deviazione della verticale può far sì che la gravità crei un momento torcente. Realisticamente Superman non dovrebbe arrivare con i grattacieli intatti ma solo con pochi mattoni.

Sempre legato al baricentro è il mistero di Dottor Octopus, nemico dell'uomo ragno, il quale per manipolare gli isotopi radioattivi usa un sistema di cinghie intorno alla vita che in seguito ad un'esplosione si sono fuse. Queste braccia molto pesanti dovrebbero farlo cadere sulla schiena o a faccia a terra ma Dottor Octopus riesce a stare in piedi su due gambe.

Un'altra dimostrazione di forza irrealistica è quella relativa a Justice League che tiene la Luna con un filo per sconfiggere un gruppo di marziani.

In base alla seconda legge di Newton se una forza è applicata a una massa ci sarà un'accelerazione. Quando i supereroi tirano la Luna annullano la forza di gravità, la Luna ha una massa di settanta miliardi di trilioni di kg, accelera ma essendo la massa elevata l'accelerazione sarà molto inferiore e quindi ci vorrà molto tempo per spostarla (7 secoli).

Conclusioni

Il libro è interessante e l'autore coinvolge con simpatiche battute riuscendo a spiegare anche i passaggi più ostici con semplicità e chiarezza. I supereroi vengono citati continuamente perché sono loro lo strumento diretto con cui vengono spiegate le più importanti leggi della fisica.

Partendo dai superpoteri degli eroi dei fumetti, il professore Kakalios costruisce una vera e propria guida alle leggi fisiche dell'Universo. Ci mostra che la fisica può svelare non solo il segreto della potenza di Super-Man, ma anche la reale causa di distruzione del suo pianeta d'origine, Krypton.

Spiega, poi, in modo accattivante, quanta forza serve a Superman per raggiungere con un solo balzo il tetto di un grattacielo, quanti cheeseburger deve mangiare Flash per correre a velocità supersonica e, spaziando dalla termodinamica alla teoria elettromagnetica, da dove nasce il potere di Professor X di leggere nella mente degli altri.

Alla fine di questo viaggio affascinante nella fisica si raggiungono delle conclusioni importanti sul senso della scienza e della tecnica: *“se lo studio del mondo naturale ci ha insegnato qualcosa, è che, diversamente da Hulk, più siamo intelligenti, più diventiamo forti. Ora che avete finito questo libro, forse anche voi vi sentite un po' più forti, se non nei muscoli, almeno nella mente.E' la nostra intelligenza a darci quel vantaggio competitivo che ci ha permesso di diventare la specie dominante del pianeta..... Il nostro superpotere è l'intelligenza”*(Kakalios).