

Le Ruote Quadrate

Mostra di Scienza, Arte e Percezione

CATALOGO DEGLI EXHIBIT



associazione culturale
www.scienzaviva.it

INTRODUZIONE

Le Ruote Quadrate

“**Le Ruote Quadrate**” è una mostra scientifica itinerante costituita da circa 50 **exhibit interattivi**, ideati e realizzati per far sì che chiunque, indipendentemente dall’età, dalle conoscenze scientifiche e dalle competenze manuali, possa fare esperienza diretta di fenomeni naturali ed intuirne le leggi.

La parola inglese **exhibit** si può tradurre in italiano come **unità espositiva**, nel senso che essa propone un insieme unitario di fenomeni. La mostra è, dunque, una raccolta di unità espositive distinte, raccordabili secondo un filo logico o tematico. Il pubblico non è obbligato a visitarle in modo sequenziale, anzi è lasciato libero di seguire tutti i percorsi che vuole: ogni unità ha qualcosa da dirgli, che non dipende dall’ordine in cui egli la incontra.

La parola **interattivo**, invece, indica il fatto che l’exhibit è stato studiato per “reagire” alle azioni del visitatore e per rivelargli in questo modo quali legami esistono tra le variabili fisiche messe in gioco dalle sue mani. L’interattività è la modalità conoscitiva più coerente con la mentalità operativa in cui oggi viviamo. Missione della mostra è rivelare questa modalità e il suo retroterra scientifico, basato sul rapporto bilaterale tra il cervello e le azioni manuali. Farlo cogliere al pubblico, al di là degli immediati scopi divulgativi, è il nostro ulteriore e più ambizioso obiettivo.

Il modello ispiratore della Mostra è stato l’**Exploratorium** di San Francisco, il primo Museo della Scienza al mondo ad introdurre questa filosofia espositiva: il visitatore che vi entra non trova antichi strumenti custoditi gelosamente in teche trasparenti, ma oggetti curiosi, che sembrano grossi giocattoli, che lo sollecitano a “metterci le mani sopra” (*hands-on*) e ad interagire con essi. Gli exhibit dell’Exploratorium sono diventati famosi perché sono stati pensati e costruiti da scienziati, insegnanti, artigiani e artisti.

La Mostra “**Le Ruote Quadrate**”, è stata ideata e realizzata nel corso degli ultimi venti anni fa a **Calitri**, un paese dell’Alta Irpinia, grazie soprattutto all’impegno e alla volontà dei professori Pietro Cerreta e Canio Lelio Toglia, docenti del locale Istituto di Istruzione Superiore “A.M. Maffucci”. Come per l’Exploratorium, la Mostra è stato il risultato della proficua interazione tra docenti e studenti di scuola superiore, studenti universitari, tecnici e artigiani locali. La rete di artigiani e tecnici locali hanno costituito e costituiscono tuttora una sorta di laboratorio diffuso, con una inestimabile ricchezza di competenze e conoscenze tecnologiche che permettono di realizzare oggetti di fattura e complessità comparabili a quelli realizzati nei laboratori dei grandi *Science Center* di tutto il mondo.

Il nucleo di persone coinvolto in questa Mostra ha collaborato, nel corso degli anni, alla realizzazione di exhibit interattivi anche per altre istituzioni, tra cui ne citiamo due:

- la Città della Scienza di Napoli, con la realizzazione di exhibit interattivi per la sezione “Facciamo un Esperimento” della manifestazione “Futuro Remoto”, 1988
- l’Università di Perugia, con la collaborazione al Progetto “*Adotta un Esperimento*”, patrocinato e co-finanziato dal Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca, teso a valorizzare le capacità creative degli studenti e dei docenti delle Scuole superiori di tutta Italia.

Dal 2000 la mostra “Le Ruote Quadrate” è gestita dall’Associazione no-profit per la divulgazione scientifica **ScienzaViva** e viene allestita in tutta Italia nell’ambito del Progetto “Scienza Interattiva”, promosso da ScienzaViva e patrocinato e cofinanziato dal Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca. Nel resto dell’anno è ospitata presso il Centro della Scienza di Calitri.

“Le Ruote Quadrate” ha ricevuto nel 1997 il premio per la Didattica della Fisica dalla Società Italiana di Fisica.

ELENCO DEGLI EXHIBITS DELLA MOSTRA

Luce e percezione

1	Bacchetta magica	pag. 5	12	L'angolo di Brewster	pag. 16
2	Brucia ma non scotta	pag. 6	13	Lenti e diaframmi	pag. 17
3	I colori del colore	pag. 7	14	Luce polarizzata	pag. 18
4	Dritte o curve	pag. 8	15	Motore a luce	pag. 19
5	Dischi di Benham	pag. 9	16	Ombre colorate	pag. 20
6	Effetto Moiré	pag. 10	17	Parabole (miraggio)	pag. 21
7	Entra nel caleidoscopio	pag. 11	18	Riflessioni sferiche	pag. 22
8	Il gatto del Cheshire	pag. 12	19	Riflettore angolare	pag. 23
9	Immagini reali	pag. 13	20	Specchio antigravità	pag. 24
10	Io e te insieme	pag. 14	21	Tocca la molla	pag. 25
11	Isola luminosa	pag. 15			

Elettricità e Magnetismo

1	Attrattore strano	pag. 26	4	Paracadute elettromagnetico	pag. 29
2	Batteria a mano	pag. 27	5	Pulci elettriche	pag. 30
3	Motore asincrono	pag. 28	6	Trasformatore	pag. 31

Aria, acqua e suono

1	Bolle di sapone	pag. 32	5	Il secchio di Newton	pag. 36
2	Cannone ad aria	pag. 33	6	Note a memoria	pag. 37
3	Il diavoleto di Cartesio	pag. 34	7	Pellicola colorata di sapone	pag. 38
4	Il flauto di Pan	pag. 35			

Equilibrio e movimento

1	Armonografo	pag. 39	7	Le ruote quadrate	pag. 45
2	Bottiglie risonanti	pag. 40	8	Precessione della ruota	pag. 46
3	Comincia da sopra	pag. 41	9	Ruota di bicicletta	pag. 47
4	Gara in discesa	pag. 42	10	Stecca in equilibrio	pag. 48
5	Giroscopio	pag. 43	11	Urto elastico	pag. 49
6	Il piccolo contro il grande	pag. 44			

LUCE E PERCEZIONE

BACCHETTA MAGICA

Cosa fare e cosa notare

Questo exhibit è formato da un contenitore rosso, all'interno del quale è posto un proiettore di diapositive, e da uno schermo nero dotato di alette rivolte verso il basso, posto a qualche passo di distanza. Lasciando libero lo spazio tra i due oggetti, prendi la bacchetta bianca dal manico e agitala davanti allo schermo nero. Man mano che aumenterai la velocità con cui oscilla la bacchetta davanti allo schermo, vedrai, come per incanto, costruirsi un'immagine.

Che differenza noti nella immagine quando agiti la bacchetta lentamente rispetto a quando il moto è molto più veloce? Riesci a trovare una velocità minima necessaria per costruire l'immagine intera?



Cosa accade?

Il fascio di luce proveniente dal proiettore di diapositive colpisce il pannello nero. In assenza di bacchetta non riesci a vedere l'immagine della diapositiva poiché la luce del proiettore è in parte assorbita dal pannello e in parte deviata dalle alette. Quando interponi la bacchetta e la lasci ferma i raggi trovano una superficie su cui riflettersi e ti permettono di osservare una parte dell'immagine complessiva della diapositiva: quella che in quel momento si riflette sulla bacchetta.

Quando la bacchetta oscilla, al tuo occhio arriva una sequenza di immagini parziali. Grazie alla capacità dell'occhio umano di conservare le immagini sulla retina (*persistenza dell'immagine*) e alla capacità del cervello di *integrare*, cioè di *collegare* le immagini successive, il sistema occhio-cervello è in grado di ricostruire l'immagine continua. Ciò avviene però solo se la velocità con cui la bacchetta viene agitata supera un valore minimo, corrispondente al susseguirsi di circa 30 immagini parziali al secondo. A velocità maggiori la qualità dell'immagine migliora. Allo stesso modo facendo scorrere velocemente la pellicola di un film, costituita da tanti immagini fisse (*fotogrammi*), abbiamo l'illusione del movimento continuo.

Lo sapevi che...

Un televisore tradizionale funziona a 50 Hertz, cioè riproduce 50 volte in un secondo l'immagine che in quel momento stai osservando. I moderni televisori a 100 Hertz offrono quindi un'immagine migliore.

LUCE E PERCEZIONE

BRUCIA MA NON SCOTTA

Cosa fare e cosa notare

Avvicinati all'apertura circolare di questa scatola e introduci lentamente la tua mano... prova a stringere la mano che ti si avvicina!

Se hai un accendino prova ad accenderlo e a tenerlo davanti all'apertura, mentre infili dentro l'altra mano: la fiamma sembra toccare la tua mano ... ma non scotta!



Cosa accade?

Quella che stai osservando è l'effetto di uno specchio concavo disposto sul fondo della scatola. Uno specchio concavo è in grado di far convergere i raggi che incidono sulla sua superficie in un unico punto detto *fuoco*. La distanza tra questo punto e la superficie dello specchio è detta *lunghezza focale*. Nel fuoco si crea un'immagine reale che ai nostri occhi appare esattamente uguale a quella dell'oggetto che l'ha creata.

In questo exhibit la tua mano è posta ad una distanza pari al doppio della distanza focale. A questa distanza si produce un'immagine reale della tua mano della stessa dimensione della mano vera, ma capovolta.

Lo sapevi che...

L'obiettivo è un gruppo di lenti o una combinazione di specchi sferici in grado di creare l'immagine reale di un oggetto. Lo zoom è un obiettivo a lunghezza focale variabile, che consente di ampliare o ridurre l'inquadratura mantenendo sempre a fuoco l'immagine.

LUCE E PERCEZIONE

I COLORI DEL COLORE

Cosa fare e cosa notare

Un sottile raggio di luce bianca esce dalla scatola alla tua sinistra e colpisce il prisma al centro del tavolo. Ruota la base del prisma fino a che sullo schermo bianco non compaiono i colori dell'arcobaleno. Regola bene la posizione del prisma in modo che i colori siano nitidi e ben distinguibili. I colori che vedi ora separati erano prima tutti mescolati nel raggio di luce bianca: il prisma li ha separati, mettendoli in ordine dal violetto al rosso.

Nota che una parte del fascio di luce bianca passa al di sopra del prisma e illumina lo schermo bianco che sta alla tua destra. Metti un filtro colorato tra la sorgente luminosa e il prisma. Nota che uno o più colori non appaiono più. Confronta i colori che sono rimasti sullo schermo di fronte a te e quello che c'è sullo schermo alla tua destra. Ora avvicina il filtro agli occhi e ripeti il confronto. Nota che i colori non sono cambiati.

Cosa accade?

La luce bianca contiene tutti i colori dell'arcobaleno ma l'occhio non è in grado di distinguerli. Un raggio luminoso che attraversa il prisma subisce due deviazioni: la prima all'ingresso del prisma e la seconda all'uscita (*rifrazione*). La deviazione totale è diversa per ciascuno dei colori di cui è composta la luce bianca, per cui all'uscita dal prisma è possibile raccogliere sullo schermo bianco l'immagine dei colori distinti. In termini scientifici questo si chiama *spettro* della luce bianca.

Un filtro è nient'altro che un dispositivo in grado di bloccare alcuni di questi colori e lasciare passare indisturbati gli altri. Quando interponi un filtro tra la sorgente di luce e il prisma, sullo schermo di fronte a te appaiono i colori distinti che il filtro ha lasciato passare, mentre sullo schermo alla tua destra appare il colore che si è ottenuto per effetto della loro mescolanza. I colori che vedi saranno gli stessi sia che tu metta il filtro tra la sorgente di luce e il prisma, sia che lo metta tra il prisma e gli schermi, sia infine che lo metta direttamente sui tuoi occhi.



Cambiando la posizione del filtro non cambia il colore della luce che giunge ai tuoi occhi.

Lo sapevi che...

Le gocce d'acqua sospese in cielo dopo un temporale agiscono esattamente come il prisma di questo exhibit, scomponendo la luce bianca nel suo spettro di colori e dando vita all'arcobaleno: il profilo ad arco è dovuto alla forma delle gocce.

LUCE E PERCEZIONE

DIRITTE O CURVE?

Cosa fare e cosa notare

Una lastra di plexiglas può scorrere su due figure affiancate, su entrambi i lati del pannello. Su una delle lastre è disegnata una coppia di segmenti paralleli, sull'altra un quadrato. Sulla parte fissa sono invece disegnate delle linee curve, che costituiscono i possibili sfondi.

Se sposti la lastra con i segmenti prima sullo sfondo di destra e poi su quello di sinistra, noterai che le linee parallele sembrano incurvarsi prima in un senso e poi nell'altro. Lo stesso accade ai lati del quadrato che in un caso tendono a incurvarsi verso l'interno, in un altro verso l'esterno.



Cosa accade?

Si tratta di *distorsioni* ottiche o, se vogliamo, di *illusioni* ottiche. Si gioca su quel complesso fenomeno che è la nostra percezione visiva del mondo che ci circonda, regolato dal funzionamento del sistema occhio-cervello.

Uno dei meccanismi alla base della percezione è la tendenza del sistema occhio-cervello ad esaltare la differenza tra l'oggetto che stiamo osservando e ciò che lo circonda, che viene preso come riferimento. Il quadrato disegnato sulla lastra mobile, ad esempio, verrebbe percepito con i lati perfettamente diritti se venisse osservato davanti ad uno sfondo uniforme. Quando il nostro sfondo di riferimento è costituito dalle curve disegnate sulla parte fissa del pannello, il nostro sistema occhio-cervello tende ad esaltare la differenza tra le linee diritte dello schermo mobile e questo "strano" riferimento.

Secondo il celebre scienziato Helmholtz questo comportamento è dovuto ai rivelatori dell'orientamento contenuti nel nostro sistema percettivo che, in casi del genere, esagerano l'ampiezza degli angoli acuti e minimizzano quella degli angoli ottusi.

Lo sapevi che...

Le illusioni ottiche sono usate anche nella pittura: ad esempio nella tecnica "Trompe l'Oeil" ("inganno dell'occhio") si crea l'illusione della profondità e dello spazio attraverso l'uso di prospettiva e giochi di luce e ombre.

LUCE E PERCEZIONE

DISCHI DI BENHAM

Cosa fare e cosa notare

Se osservi le figure disegnate su questi tre dischi noterai che sono tutte in bianco e nero e che ciascuna di esse si distingue per le figure geometriche.

Metti in rotazione uno dei dischi e nota che su di esso appaiono archi colorati. Fai attenzione all'ordine dei colori, dal centro verso i bordi del disco. Quale colore vedi al centro e quale al bordo? Soffermati ad osservare cosa accade intorno alle parti più sottili delle figure.

Inverti il senso di rotazione ed osserva di nuovo l'ordine dei colori. E' lo stesso?

Cerca di variare la velocità di rotazione e ripeti le osservazioni.

Cosa accade?

Facendo girare una trottola su cui aveva applicato un disegno in bianco e nero Benham, costruttore di giocattoli dell'800, osservò dei colori. Si tratta di un'illusione ottica legata al funzionamento del sistema occhio-cervello ed in particolare ai cosiddetti *coni*, cioè le cellule della retina addette alla visione del colore. Vi sono tre tipi di coni, sensibili rispettivamente alla luce rossa, verde e blu. Ogni tipo di cono impiega un tempo diverso per attivarsi e quindi "vedere" il colore (*tempo di latenza*) e conserva questa informazione per un certo tempo (*tempo di persistenza*). I coni sensibili al blu, ad esempio, hanno i tempi di latenza e di persistenza più lunghi.



Quando ti concentri su una determinata area del disco rotante ricevi alternativamente lampi di bianco e di nero. Un lampo bianco è costituito da tutti i colori e quindi eccita tutti e tre i tipi di coni. Ma il sistema occhio-cervello vede il colore bianco solo quando i tre tipi di coni rispondono allo stesso modo. Il fatto che i coni possano avere diversi tempi di latenza e di persistenza crea uno squilibrio che spiega perché vedi i colori. Questo squilibrio può variare, anche di molto, da persona a persona, quindi non tutti potrebbero percepire i colori della figura in movimento.

Lo sapevi che...

Una telecamera ha tre differenti sensori di colore, anch'essi con diversi tempi di latenza e di persistenza. Quando una luce molto brillante finisce nel campo visivo di una telecamera, lo squilibrio di tali tempi produce una stria colorata sullo schermo.

LUCE E PERCEZIONE

L'EFFETTO MOIRE'

Cosa fare e cosa notare

Questo exhibit è costituito da tre pannelli e da due oggetti forati disposti davanti al pannello bianco. Sui pannelli laterali, invece, sono collocate quattro coppie di figure. Osserva una qualunque di queste coppie e nota che i loro sistemi di linee, se sovrapposti, coincidono. Se sposti leggermente la figura mobile noterai una serie di linee chiare e scure sovrapporsi alla figura: questo disegno è chiamato *moiré* (termine francese che indica un tessuto che ricorda le onde del mare). Il *moiré* cambia man mano che ti allontani dalle figure o che cambi la distanza tra di loro.

Puoi fare le stesse osservazioni guardando i due oggetti forati disposti di fronte al pannello bianco. Noterai in questo caso che il *moiré* si presenta come un insieme di celle esagonali, regolari sulle su-perfici piane e deformate sul cilindro. Anche in questo caso il *moiré* cambierà se ti allontani dagli oggetti (in particolare varierà la dimensione degli esagoni).



Cosa accade?

L'*effetto moiré* è dovuto alla composizione di due immagini provenienti da due oggetti simmetrici o a struttura reticolare, quando la loro distanza è troppo piccola per poterle distinguere come immagini separate. In questi casi la composizione delle due immagini è legata al fenomeno dell'*interferenza*. Le righe nere corrispondono a punti dove le due immagini si sono cancellate a vicenda (*interferenza distruttiva*), mentre le righe chiare corrispondono a punti in cui l'*interferenza* è stata *costruttiva*. Il *moiré* è quindi una *figura di interferenza*, molto sensibile anche a piccolissime variazioni della distanza tra le due immagini.

L'*effetto moiré* si può osservare guardando, da un veicolo in movimento, le maglie della rete metallica di un recinto: se fai attenzione ti balzerà agli occhi un insieme di linee chiare e scure che si spostano.

Lo sapevi che...

L'*effetto Moiré* viene sfruttato in molte "prove non distruttive", ad esempio per verificare la precisione di lavorazione delle superfici di pannelli per uso aeronautico.

LUCE E PERCEZIONE

ENTRA NEL CALEIDOSCOPIO

Cosa fare e cosa notare

Entra nel caleidoscopio (fai attenzione alla testa!) e... immergiti nell'infinito.

Osserva quante volte viene riflessa la tua immagine! Nota, inoltre, cosa accade se ti sposti al centro o in prossimità di un vertice del caleidoscopio. Se sei in compagnia di uno o due amici, provate ad alzare le mani tutti insieme: una "folla" di braccia alzate vi sorprenderà.



Cosa accade?

Il *caleidoscopio* (termine greco che significa "*oggetto per vedere belle forme*") è un oggetto molto noto che produce immagini suggestive, giocando con le infinite riflessioni prodotte da specchi disposti simmetricamente.

Come in un caleidoscopio, in questo exhibit si sfruttano le riflessioni multiple create da tre specchi disposti ai lati di un triangolo *equilatero*. Le immagini riflesse saranno talmente tante che tu farai fatica a distinguerne l'ordine con il quale si formano. Concentrando l'attenzione sulle immagini più lontane avrai un'idea dell'infinito ripetersi delle riflessioni.

D'altra parte, la "folla" di braccia alzate ti darà l'idea dell'infinito...in atto.

Lo sapevi che...

Il caleidoscopio è stato inventato nel 1816 dallo scienziato scozzese David Brewster mentre conduceva esperimenti sulla polarizzazione della luce.

LUCE E PERCEZIONE

IL GATTO DEL CHESHIRE

Cosa fare e cosa notare

Per questo exhibit ti occorre l'aiuto di qualcuno che si sieda sullo sgabello fisso dall'altra parte del tavolo. Siediti sullo sgabello di fronte allo specchio che si trova sul tavolo e appoggia la fronte e il naso contro lo spigolo dello specchio, in modo che il tuo occhio sinistro veda la persona seduta di fronte, mentre l'occhio destro veda, attraverso lo specchio inclinato, l'immagine riflessa del pannello bianco.

Stando in questa posizione, metti la tua mano destra sul pannello bianco, in modo che la sua immagine si sovrapponga a quella della persona che stai osservando. Adesso muovi la mano sul pannello come se volessi cancellare con un cassino l'immagine della persona che ti sta davanti. Noterai che scompaiono alcune parti del suo volto o addirittura l'intero volto. L'effetto sarà più evidente se chi ti sta davanti resta immobile ed il tuo movimento è rapido.

Alcune persone ci riescono solo dopo diversi tentativi, altri non ci riescono affatto. Tu stesso, forse, dovrai provare diverse volte prima di farcela.



Cosa accade?

Com'è noto l'immagine che percepiamo è la ricostruzione fatta dal nostro cervello delle due immagini inviate separatamente dai nostri occhi. Normalmente un occhio ha una visione dell'ambiente circostante che è solo di poco diversa da quella dell'altro. Qui, invece, gli occhi hanno visioni molto diverse tra loro. Un occhio vede una persona immobile, mentre l'altro vede il pannello bianco e la mano in movimento. Il cervello allora è costretto a costruire un'unica immagine che abbia senso fondendo queste due.

L'istinto porta naturalmente il cervello a dare priorità alle immagini in movimento piuttosto che a quelle ferme. In questo caso, nella ricostruzione dell'immagine complessiva il cervello darà molto più "peso" alla mano in movimento che non al volto immobile della persona, di cui tipicamente scompaiono le parti uniformi (guance, fronte) e restano le parti che spiccano maggiormente (occhi e bocca). Se non riesci a percepire l'effetto dipende probabilmente dal fatto che il tuo occhio sinistro è dominante rispetto al destro, il che può compensare il fenomeno descritto.

Lo sapevi che...

Il gatto del Cheshire (lo "Stregatto") è un personaggio del libro "Alice nel paese delle meraviglie" di L. Carrol che scompare lentamente, lasciando visibile solo la bocca e il suo sorriso.

LUCE E PERCEZIONE

IMMAGINI REALI

Cosa fare e cosa notare

Se osservi questo exhibit noterai che vi sono due aste mobili, con le quali si può cambiare la posizioni di una lampadina e di uno schermo semitrasparente. Una seconda lampadina è invece fissata capovolta sulla struttura in legno.

Muovi l'asta a cui è collegato lo schermo fino a posizionarla in corrispondenza della lampadina capovolta. Muovi ora avanti e indietro l'altra asta, osservando lo schermo attraverso l'anello finché non riesci ad osservare nitidamente l'immagine di una lampadina capovolta. Le dimensioni di questa immagine sono uguali a quelle della lampadina capovolta fissata sul legno.

Abbassa ora lo schermo e guarda nel punto dove prima c'era lo schermo: troverai ancora l'immagine della lampadina. Riporta lo schermo in posizione e spostalo in un'altra posizione. Ripeti la procedura di prima e ti accorgerai che questa volta l'immagine ha dimensioni diverse da quelle della lampadina capovolta.



Cosa accade?

Tra la lampadina mobile e lo schermo si trova un lente *convessa*, in grado di piegare il percorso dei raggi di luce e di farli convergere in un punto (*fuoco della lente*), cioè in grado di *focalizzare* il fascio di luce. L'immagine nitida della lampadina si forma quando lo schermo si trova proprio nel fuoco della lente.

Com'è noto, noi percepiamo l'immagine del mondo esterno grazie alla luce che si irradia dagli oggetti e colpisce i nostri occhi. La luce si irradia dall'immagine della lampadina esattamente come fa dalla lampadina vera, montata capovolta sulla struttura di legno. Ai nostri occhi, quindi, le due immagini appaiono uguali. L'immagine *reale* si crea nel fuoco indipendentemente dalla presenza di uno schermo, che serve solo ad agevolare la visione dell'immagine, esaltando la luce che proviene da essa verso i nostri occhi.

L'immagine della lampadina che si ottiene sullo schermo spostando le due aste e' a volte piu' piccola, a volte piu' grande dell'originale, ma sempre capovolta. Quando la distanza della lampadina dallo schermo e' uguale a due volte la distanza tra la lente ed il suo fuoco, l'immagine della lampadina è perfettamente a fuoco ed identica in dimensioni all'originale.

Lo sapevi che...

L' occhio umano contiene una lente convessa (cristallino) che focalizza i raggi di luce sul fondo dell'occhio (retina), formando immagini capovolte. Gli occhiali servono a correggere eventuali difetti di focalizzazione di questo sistema ottico.

LUCE E PERCEZIONE

IO E TE INSIEME

Cosa fare e cosa notare

Per questo exhibit occorrono due persone. Sedetevi sui due sgabelli, spostate leggermente il busto e cercate di allineare i vostri volti in modo da far coincidere la posizione dei vostri occhi sulla lastra che vi sta di fronte.

Adesso muovete i cursori neri posti sul tavolo di legno, che permettono di regolare la luminosità. Noterete che le immagini dei vostri volti si fondono in un'unica immagine e che, se la luce è più intensa da uno dei due lati, il volto della persona che sta da quella parte domina rispetto all'altro volto. Potete provare a lasciar spente le luci da un lato, accendendole al massimo dall'altro lato, variando poi con continuità la loro luminosità fino a trovarvi nella situazione opposta.

L'effetto è tanto più intrigante quanto più i volti sono diversi (uomo-donna, adulto-bambino, etc...).



Cosa accade?

Il vetro che hai di fronte è particolare, in quanto su una delle due facce è stata stesa una sottilissima lamina di metallo. Questa lamina è talmente sottile da non impedire che la luce possa attraversarla, per cui sei in grado di vedere la persona che ti sta di fronte. La lamina tuttavia riesce in parte a riflettere la luce, cioè si comporta come uno specchio.

Ai tuoi occhi, quindi, arriva l'immagine del tuo amico che si trasmette attraverso il vetro, combinata con la tua immagine riflessa per effetto della presenza della lamina. Le due immagini si fondono dando origine all'immagine "ibrida" che osservi. Variando la luminosità delle luci da una parte o dall'altra si può esaltare o attenuare una delle due immagini che si compongono e quindi farne prevalere una sull'altra.

Lo sapevi che...

Un effetto analogo è usato in cinematografia nelle scene in cui da un volto si passa gradualmente ad un altro. Tale tecnica, basata su manipolazioni digitali di due immagini, è detta morphing.

LUCE E PERCEZIONE

ISOLA LUMINOSA

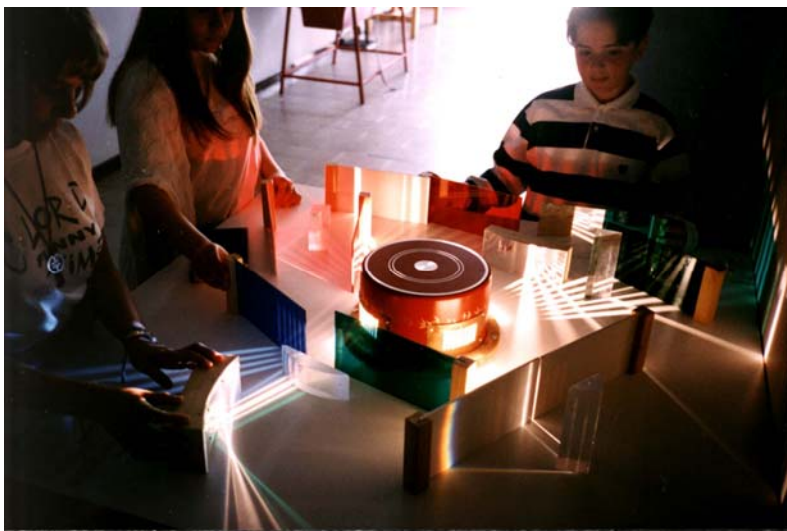
Cosa fare e cosa notare

In questa postazione potrai divertirti a fare numerose esperienze di ottica, sfruttando i raggi di luce che escono dalle fenditure del cilindro al centro del tavolo, e utilizzando tutti gli oggetti a disposizione: lenti, prismi, filtri, specchi. Alcuni schermi bianchi ti permetteranno di raccogliere le immagini.

Prova ad usare le lenti: ne troverai di due tipi: *concave* e *convesse*. I raggi che attraversano una lente convessa devieranno in modo da *convergere*, cioè da focalizzarsi in un unico punto. Passando attraverso una lente concava, invece, i raggi *divergono*, cioè si allontanano tra di loro.

Utilizzando un prisma è poi possibile scomporre la luce nei colori fondamentali e raccogliere sullo schermo bianco lo *spettro* dei colori, dal rosso al violetto. Metti ora un prisma davanti alla traiettoria di un singolo raggio e fallo ruotare lentamente su sé stesso: noterai che in alcune posizioni il raggio di luce viene completamente riflesso, tornando indietro nella direzione da cui proviene.

Infine usando i filtri colorati, da soli o in combinazione tra di loro, potrai osservare quali colori vengono bloccati e quali invece riescono a passare.



Cosa accade?

Quando un raggio di luce colpisce il vetro o il plexiglas trasparente, una parte riesce a passare (*rifrazione*) e un'altra viene riflessa (*riflessione*). Il raggio trasmesso (*rifratto*) viene deviato di un angolo che dipende dallo spessore che attraversa. In una lente i raggi che la colpiscono in zone diverse incontrano spessori diversi e quindi subiscono differenti deviazioni. L'effetto complessivo è divergente o convergente, a seconda delle lenti.

Passando attraverso un prisma, ciascuno dei colori di cui è composta la luce bianca subisce una diversa deviazione, per cui è possibile raccogliere sullo schermo bianco l'immagine dei colori distinti.

I filtri assorbono solo alcuni colori dalla luce bianca lasciando passare gli altri. Un filtro ideale è in grado di assorbire completamente un certo colore, mentre in altri casi il filtro si limita ad attenuarlo. Ponendo in successione due filtri ideali di colore diverso (ad esempio blu e rosso) si blocca completamente il passaggio di luce.

Lo sapevi che...

La trasmissione della luce lungo le fibre ottiche sfrutta il fenomeno della "riflessione totale" che hai sperimentato con questo exhibit, quando hai trovato l'angolo per cui tutta la luce incidente sul prisma viene riflessa indietro.

LUCE E PERCEZIONE

L'ANGOLO DI BREWSTER

Cosa fare e cosa notare:

Sulla parte destra di questo tavolo trovi una lampada inclinata che illumina uno schermo su cui poggia un dischetto di computer. Per questo exhibit utilizza uno dei filtri polarizzatori montati su cornice di legno che trovi al centro del tavolo. Osserva, attraverso il filtro, l'immagine riflessa del dischetto, ruotando il filtro in varie posizioni e allontanandoti di qualche passo dal tavolo. Al variare dell'angolo e della distanza, cambia la luminosità dei riflessi: diventa massima in certe posizioni mentre si attenua in altre.

Fai attenzione, in particolare, al riflesso della parte metallica del dischetto e confrontalo con quello della parte nera di plastica: ruotando il filtro noterai una variazione di luminosità del riflesso della parte di plastica, mentre il riflesso prodotto dalla parte metallica resta invariato. Allontanandoti dal tavolo, infine, la variazione di luminosità sarà più evidente.



Cosa accade:

Per comprendere meglio leggi prima la descrizione dell'exhibit *Luce polarizzata*.

In questo exhibit la lampadina emette luce *non polarizzata*, che viene riflessa così com'è dalla superficie metallica. La plastica, invece, è in grado di *polarizzare* la luce, facendo riflettere solo la componente della luce che vibra parallelamente alla sua superficie, mentre blocca la luce che vibra in altre direzioni. Il filtro, al solito, lascerà passare la luce che vibra in una determinata direzione, assorbendo il resto. Quando la polarizzazione del filtro è uguale a quella della luce riflessa dalla plastica osserverai la massima luminosità, mentre nella direzione perpendicolare si ottiene la luminosità minima.

Consideriamo l'angolo tra la direzione della luce incidente e la direzione perpendicolare alla superficie. Quando questo angolo assume particolari valori (*angolo di Brewster*) la luce diventa completamente polarizzata nella direzione della superficie riflettente. L'angolo di Brewster per l'acqua vale 53° , per il vetro è 56° , mentre per la plastica è compreso tra questi due. Allontanandoti dal tavolo ti avvicini a quest'angolo e le variazioni di luminosità sono più evidenti.

Lo sapevi che...

I pescatori indossano lenti da sole polarizzanti (Polaroid) che riducono il bagliore dei riflessi del sole sulla superficie dell'acqua, al punto da permettere loro di intravedere cosa c'è sotto l'acqua.

LUCE E PERCEZIONE

LENTI E DIAFRAMMI

Cosa fare e cosa notare

Prendi una lente e portala all'altezza del fascio di luce. Muovila lentamente verso la sorgente luminosa fino a quando non vedi apparire sullo schermo mobile un'immagine nitida (capovolta). Muovi ora la lente verso lo schermo fino a quando non vedi apparire una nuova immagine, di dimensioni minori rispetto a prima. Se muovi avanti e indietro la lente tra la diapositiva e lo schermo troverai che l'immagine si forma solo in quei due posti. Se sposti lo schermo mobile cambieranno queste posizioni. Nota, inoltre, che le immagini saranno sfocate se inclini la lente, mentre saranno meno luminose se cerchi di coprirla parzialmente con le tue dita. Abbassa ora lo schermo mobile e osserva se si formano immagini in fondo, sullo schermo fisso.

Ripeti ora l'esperienza usando il diaframma col foro più piccolo: l'immagine che si formerà sarà molto tenue, ma sarà ancora capovolta, come accade per le lenti. Riprova, questa volta mettendo insieme due lenti. Osserva infine cosa accade quando accosti ad una lente un diaframma con un foro più grande o con una corona di fori.



Cosa accade?

Senza la lente, la luce che si irradia da ciascun punto della diapositiva arriva in tutti i punti dello schermo, rendendo indistinguibile al nostro occhio l'immagine. La lente invece è in grado di piegare il percorso dei raggi di luce e di farli convergere (*focalizzare*). Tra la diapositiva e lo schermo, qualunque sia la loro distanza, esistono sempre due sole posizioni nelle quali la lente è in grado di far convergere tutti i raggi che partono da un dato punto della diapositiva in un unico punto dello schermo. In questa condizione il nostro occhio è in grado di ricostruire l'immagine della diapositiva. Se, dopo aver focalizzato un'immagine, abbassi lo schermo mobile non riuscirai a vedere l'immagine sullo schermo fisso e sarai costretto a spostare la lente alla ricerca di una delle due nuove posizioni.

Tutte le aree della lente contribuiscono ugualmente all'immagine: non c'è alcuna differenza tra i raggi provenienti dal suo bordo rispetto a quelli provenienti dal suo centro. Le dita davanti alla lente o l'aggiunta di un diaframma non producono ombre nell'immagine perché si limitano a bloccare il passaggio di un'uguale quantità di luce destinata a ogni parte dell'immagine. Di conseguenza l'immagine sarà solo meno luminosa. Nella malattia nota come "cataratta" parte della lente dell'occhio (*cristallino*) non è più trasparente. In questo caso le immagini sono molto tenui, ma intere.

Lo sapevi che...

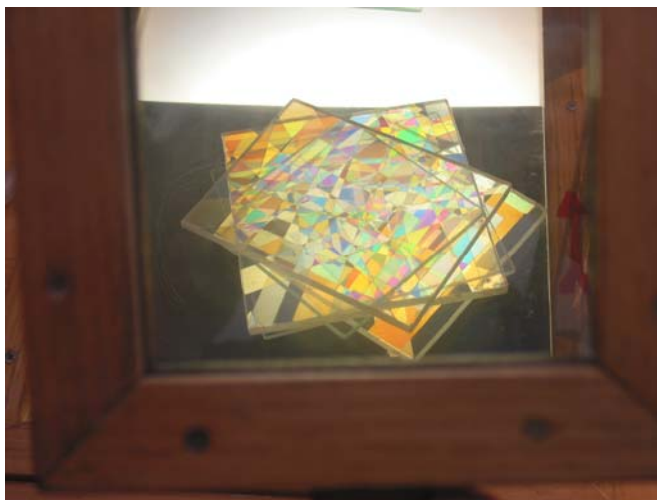
Nelle macchine fotografiche il diaframma viene regolato in funzione della luminosità: in condizioni di scarsa luminosità occorre aprirlo al massimo per sfruttare tutta l'area della lente nella focalizzazione dell'immagine.

LUCE E PERCEZIONE

LUCE POLARIZZATA

Cosa fare e cosa notare

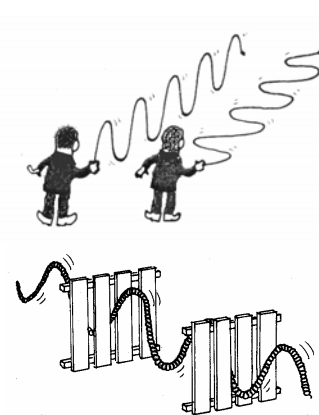
Sul tavolo troverai alcuni oggetti poggiati su una zona illuminata contrassegnata da una freccia. Al centro ci sono due filtri montati in cornici di legno, anch'essi contrassegnati da una freccia. Prendi uno dei filtri e osserva attraverso di esso gli oggetti poggiati sulla zona illuminata. Noterai che l'immagine è chiara quando la freccia del filtro è parallela a quella indicata sul tavolo, mentre si fa più scura quando le frecce sono perpendicolari.



Osserva ora la lastra di vetro con le strisce di nastro adesivo: girando lentamente il filtro noterai che cambiano i colori. Infine prova a ripetere l'esperienza osservando un tubicino di plastica e deformandolo. All'aumentare della deformazione del tubo il filtro ti farà vedere colori diversi.

Cosa accade

Se prendi un capo di una corda e lo scuoti si forma un'onda trasversale che procede fino all'altro capo, come nell'immagine a lato. Possiamo immaginare che la luce sia formata da tante onde che, in condizioni normali, vibrano in tutte le direzioni. La luce è invece *polarizzata* quando le onde di cui è composta vibrano tutte in un'unica direzione.



Il materiale di cui è composta una parte della superficie illuminata del tavolo e il filtro montato nelle cornici è in grado di polarizzare la luce in una certa direzione. Per avere un'idea possiamo pensare ad uno steccato con le assi distanziate, come in figura. Questa struttura è in grado di far passare le onde polarizzate verticalmente e di bloccare quelle che oscillano in altre direzioni. Allineando le frecce le polarizzazioni dello schermo fisso sul tavolo e del filtro nella nostra mano sono le stesse e quindi consentiamo il passaggio della luce. In qualunque altra posizione la trasmissione è ostacolata e quindi l'immagine riflessa diventa più scura.

Quando la luce bianca polarizzata passa attraverso il nastro adesivo sulla lastra di vetro, la luce riflessa ha una direzione di polarizzazione diversa per ciascuno dei colori di cui è composta. Nella luce riflessa, quindi, i colori non vibrano più tutti nella stessa direzione: li puoi distinguere tutti ruotando il filtro. I colori, inoltre, dipendono dalle tensioni a cui è sottoposto il materiale: le regioni in cui le strisce colorate sono più strette e fitte sono quelle in cui lo sforzo è maggiore.

Lo sapevi che...

Negli schermi a cristalli liquidi (LCD) gioca un ruolo fondamentale l'interazione tra i cristalli liquidi, in grado di far ruotare di 90° la polarizzazione della luce, e una coppia di filtri polarizzatori disposti su assi perpendicolari tra di loro.

LUCE E PERCEZIONE

MOTORE A LUCE

Cosa fare e cosa notare

In un palloncino di vetro è sospeso un leggero mulinello formato da quattro palette, in bilico sulla punta di un ago, in modo da rendere minimo l'attrito. Nel palloncino è stato fatto un vuoto parziale. Le palette sono annerite da un lato e bianche e riflettenti dall'altro. Le parti annerite si seguono sempre nello stesso verso, in modo che due palette opposte presentino a chi le osserva una la faccia nera, l'altra quella bianca.

Accendi la lampadina posta sulla sinistra del palloncino di vetro e osserva: il mulinello si metterà a girare, anche velocemente. Sembra quasi che le facce nere siano "spinte": nota che le palette girando nel verso in cui le facce nere retrocedono.



Cosa accade?

Questo strumento è detto *Radiometro di Crookes*, dal nome del chimico e fisico inglese che lo ha ideato nel 1873. La spiegazione rigorosa del fenomeno è molto complessa ed è stata per anni oggetto di una accesa controversia scientifica, che ha coinvolto scienziati del calibro di Maxwell e Reynolds.

Le facce nere assorbono le radiazioni meglio di quelle bianche: come conseguenza le facce nere si riscaldano di più di quelle bianche. In prossimità dei bordi delle alette, cioè della zona di confine tra area più calda (faccia nera) ed area meno calda (faccia bianca), le molecole dell'aria rarefatta contenuta nel palloncino "scavalcano" il bordo stesso, creando come effetto una spinta. Il ruolo cruciale dell'aria, sebbene rarefatta, è evidenziato dal fatto che il fenomeno sarebbe pressoché inesistente se nel palloncino si facesse un vuoto spinto.

Inoltre, se il moto fosse generato dalla pressione della radiazione elettromagnetica sulle palette, durante rotazione le parti annerite dovrebbero avanzare, invece che retrocedere.

Lo sapevi che...

Un radiometro è un dispositivo che misura il flusso della radiazione elettromagnetica. Il radiometro di Crookes è stato uno dei primi radiometri nel campo della radiazione visibile.

LUCE E PERCEZIONE

OMBRE COLORATE

Cosa fare e cosa notare:

Prima di iniziare verifica che le tre lampade sia tutte accese. Noterai che il centro del fascio di luce che illumina la parete di fronte è bianco.

Mettiti ora tra le lampade e la parete ed osserva le ombre colorate che producono le parti del tuo corpo, in particolare le tue mani. La tua ombra è nera se il tuo corpo ostacola la luce proveniente da tutte e tre le lampade, mentre se solo alcune luci sono ostacolate potrai vedere suggestive ombre... colorate. Quali colori produci ostacolando alcune delle tre luci, singolarmente o in combinazione? Se fai attenzione alle varie combinazioni possibili dovresti essere in grado di distinguere otto colori diversi, bianco e nero compresi.

Cosa accade:

La composizione dei tre colori fondamentali provenienti dalle tre lampade, cioè rosso, verde e blu, fornisce la luce bianca.

Ostacolando uno dei tre colori si ottengono rispettivamente il *ciano* (bianco meno rosso), il *magenta* (bianco meno verde) ed il *giallo* (bianco meno blu). Rimuovendo due dei tre colori si osserva ovviamente il terzo colore. Dalle possibili combinazioni, quindi, si possono osservare bianco, nero, rosso, verde, blu, ciano, magenta e giallo.

La composizione di luci *monocromatiche* quali quelle di questo exhibit (rosso, blu e verde) può dar luogo a qualsiasi colore (*sintesi additiva*). Una tinta qualsiasi può anche essere prodotta con una *sintesi sottrattiva*, cioè partendo da uno dei tre colori ciano, magenta e giallo. In questo caso la logica è appunto sottrattiva: un filtro giallo, ad esempio, rimuove dal bianco i colori rosso e verde lasciando la luce blu.



Lo sapevi che...

La televisione a colori usa la *sintesi additiva* (colori primari: rosso, blu e verde), mentre nella fotografia si usa la *sintesi sottrattiva* (colori primari: ciano, magenta e giallo).

LUCE E PERCEZIONE

PARABOLE (MIRAGGIO)

Cosa fare e cosa notare

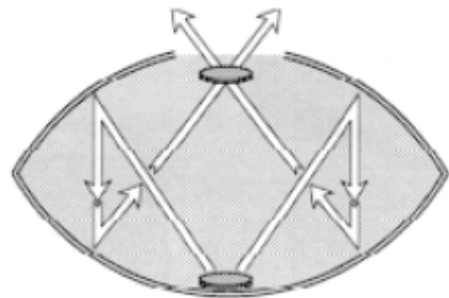
Osserva con attenzione l'apertura superiore di questo exhibit: noterai un oggetto. Prova ad afferrarlo.... non c'è nulla da prendere!



Cosa accade?

Quello che stai osservando non è un oggetto reale ma un'immagine creata da una doppia riflessione sulla superficie di due specchi parabolici, messi l'uno di fronte all'altro, come evidenziato in figura.

Uno specchio parabolico ha la proprietà di far convergere tutti i raggi paralleli in un unico punto detto *fuoco*. La distanza di questo punto dal centro dello specchio è detta *distanza focale*. In maniera reciproca, tutti i raggi che provengono da una sorgente luminosa posta nel fuoco e colpiscono la parabola vengono riflessi parallelamente.



L'oggetto reale è posto sul fondo della parabola in basso, in un punto che è anche il fuoco della parabola superiore. I raggi di luce che provengono dall'oggetto reale, quindi, colpiscono la parabola capovolta superiore e vengono riflessi parallelamente verso la parabola inferiore. Quest'ultima fa convergere i raggi nel suo fuoco, che si trova proprio nell'apertura praticata sulla parabola superiore. In questo punto si crea l'immagine *reale* dell'oggetto.

Lo sapevi che...

I segnali satellitari arrivano molto deboli sulle nostre antenne, a causa delle enormi distanze che percorrono: per questa ragione la loro ricezione deve essere il più possibile efficiente. Le antenne paraboliche, con i ricevitori posti nel loro fuoco, rappresentano un ottimo sistema di ricezione di tali segnali.

LUCE E PERCEZIONE

RIFLESSIONI SFERICHE

Cosa fare e cosa notare:

Osserva le palline da diverse angolazioni. Noterai che l'immagine riflessa da ognuna di esse è un po' diversa da quelle delle palline a fianco e che le immagini del tuo volto appaiono molto piccole e distanti.

Punta un dito verso una sfera e potrai osservare che le immagini di quel dito prodotte da tutte le altre sfere punteranno verso la stessa sfera. Se fai ruotare il dito potrai assistere a un sorprendente movimento *coreografico*. Ripeti la stessa esperienza con un accendino o con la piccola luce tascabile che trovi sul tavolo. Noterai che le riflessioni su due palline vicine si inseguono all'infinito, diventando sempre più piccole.

Osserva ora attentamente lo spazio tra le palline: ci aspetteremmo che sia delimitato da profili curvi, invece ha la forma di un triangolo.



Cosa accade:

Ogni pallina è uno specchio *convesso*, cioè uno specchio curvato verso la sorgente di luce. Gli specchi convessi producono immagini che sono più piccole degli oggetti che vi si riflettono, a differenza degli specchi piani nei quali l'immagine è della stessa grandezza dell'oggetto. Puoi confrontare la dimensione della tua faccia riflessa da una pallina con quella riflessa dalla lastra del vetro. Inoltre ogni specchio sferico "vede" il mondo da un punto di vista leggermente differente dall'altro, quindi le immagini riflesse da ciascuna pallina sono leggermente diverse.

Lo spazio tra le palline assume una forma triangolare perché il fondo della scatola è colorato di nero. Poiché il nero assorbe quasi completamente la luce, dal fondo non si riflette luce verso le palline, delle quali, quindi, resta visibile solo la parte anteriore.

La "fuga" di immagini, di grandezza sempre più piccola, nella zona di contatto tra due palline dimostra che ogni immagine che si crea su una pallina diventa una sorgente per un'altra pallina.

Lo sapevi che...

Gli specchi convessi si usano nei retrovisori delle automobili per il loro ampio campo visivo: per questa ragione gli oggetti visti nei retrovisori sono in realtà più vicini di quanto sembrino.

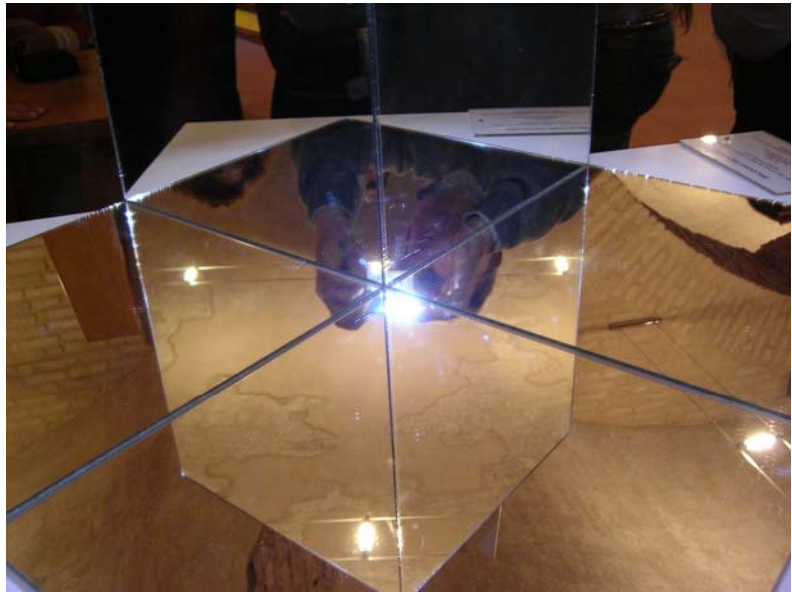
LUCE E PERCEZIONE

RIFLETTORE ANGOLARE

Cosa fare e cosa notare

Chiudi un occhio e fissa con l'altro occhio l'angolo dove si congiungono i tre specchi. Noterai che l'immagine della pupilla resterà fissa su quell'angolo, anche quando muovi la testa o addirittura ti sposti con tutto il corpo.

Metti una mano davanti ad un occhio: qualunque occhio tu copra con la mano, l'immagine dell'altro occhio si formerà sempre nell'angolo dei tre specchi. Nota, inoltre, che l'immagine della pupilla è capovolta e ribaltata rispetto alla normale immagine fornita da uno specchio.



Cosa accade?

L'immagine che vediamo è il risultato di tre riflessioni successive sulle tre superfici degli specchi. Poiché tali superfici sono disposte perpendicolarmente, qualsiasi raggio di luce che incide sullo specchio sarà riflesso in una direzione parallela a quella da cui proviene. I raggi che colpiscono il centro dei tre specchi vengono riflessi nella stessa direzione da cui provengono, ciò spiega perché da qualunque angolo guardiamo lo specchio troveremo il nostro occhio sempre nell'angolo.

Quando si guarda lo specchio con entrambi gli occhi aperti, nell'angolo si forma l'immagine dell'occhio dominante.

Lo sapevi che...

Nel corso delle missioni Apollo alcuni riflettori angolari sono stati lasciati sulla Luna: misurando il tempo di andata e ritorno di un raggio laser lanciato dalla Terra si è potuto misurare con precisione la distanza Terra-Luna.

LUCE E PERCEZIONE

SPECCHIO ANTIGRAVITA'

Cosa fare e cosa notare

Chiama uno o più amici: questo esperimento lo si fa solo in compagnia. Mettiti lungo uno dei bordi verticali dello specchio e fai mettere i tuoi amici da parte opposta. Cerca di far coincidere il bordo dello specchio con la metà del tuo corpo, in modo che una delle tue gambe sia all'esterno, l'altra all'interno ed il centro del tuo naso sia appoggiato al bordo.

Nascondi una gamba dietro lo specchio ed appoggiali ad essa. Ora alza l'altra gamba. Il tuo amico avrà l'impressione che tu ti stia librando in aria. Se vuoi volare un po' più in alto, muovi dolcemente il braccio...per portarti più in su.

Puoi far comparire dal nulla un braccio o un dito, facendolo passare attraverso la bocca, oppure puoi far sollevare sulla tua testa una cartella... fingendo di soffiarti sotto. Non c'è limite all'immaginazione...



Cosa accade

Sappiamo tutti che un comune specchio piano, di quelli che abbiamo a casa nostra, produce immagini *simmetriche* degli oggetti reali che vi si riflettono: ad esempio il nostro lato destro diventa il lato sinistro della nostra immagine nello specchio, e viceversa. Nonostante tu sia parzialmente nascosto, i tuoi amici hanno l'impressione di vederti per intero perché l'immagine del tuo lato destro riflessa dallo specchio piano appare al tuo amico come il tuo lato sinistro.

Quando alzi la gamba, è tutto il tuo corpo che sembra sollevarsi. L'effetto è più credibile se muovi anche il braccio, come se fosse un'ala. Non sarebbe così se il corpo umano non fosse simmetrico!

Il cervello è tratto in inganno: i tuoi amici ne sono consapevoli ma, come vedi, non smettono di sorprendersi...

Lo sapevi che...

Le automobili che fluttuavano sul deserto nei primi film "Guerre Stellari" erano dotate di uno specchio che correva lungo il profilo della carrozzeria nascondendo le ruote. Lo specchio rifletteva l'immagine della sabbia, le ruote venivano occultate e le auto sembravano.... volare.

LUCE E PERCEZIONE

TOCCA LA MOLLA!

Cosa fare e cosa notare

Mettiti ad una distanza di circa un metro e guarda diritto attraverso l'apertura rettangolare. Introduci la mano nell'apertura della scatola e ... tocca la molla!

Ti accorgerai che la molla che stai osservando non è un oggetto reale ma solo un'immagine.

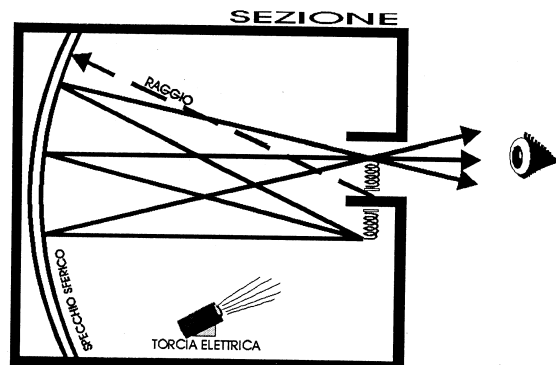


Cosa accade?

Quella che stai osservando è solo l'immagine di una molla vera prodotta da un grande specchio concavo collocato sul fondo della scatola (vedi il disegno).

I raggi luminosi che provengono da ogni punto della molla vera subiscono una riflessione sullo specchio, convergono nell'apertura della scatola e divergono di nuovo fino a giungere nel tuo occhio.

L'effetto che producono nell'occhio è identico a quello che avresti osservando una molla vera. In corrispondenza dell'apertura della scatola si crea quella che si chiama immagine *reale* della molla stessa.



Lo sapevi che...

Il periscopio dei sommergibili o dei carri armati è un esempio di utilizzo di specchi sferici per visualizzare oggetti che non si trovano a vista.

ELETTRICITA' E MAGNETISMO

L'ATTRATTORE STRANO

Cosa fare e notare

Questo pendolo è fatto con un filo alla cui estremità si trova una calamita (*magnete*). Se dai una spinta al pendolo osserverai un moto incantevole prodotto dall'attrazione e dalla repulsione tra il magnete del pendolo ed i tre magneti fissi alla sua base. Alla fine il pendolo si ferma in una posizione di equilibrio sopra uno dei tre magneti fissi. Prova ad indovinare su quale magnete si fermerà il pendolo: noterai che è praticamente impossibile.

Cosa accade?

Il moto del pendolo è il risultato dell'interazione tra la forza di gravità e la forza di attrazione o di repulsione che si ha tra magneti. In principio non c'è nulla di casuale nell'evoluzione di questo pendolo, visto che le leggi che ne regolano il moto sono ben note e determinate. Tuttavia in questo, come in tutti i cosiddetti *sistemi caotici*, ogni piccola variazione delle condizioni iniziali rende impossibile prevedere l'effettiva evoluzione del sistema.

La teoria del caos descrive fenomeni molto diversi tra di loro: la conformazione degli anelli di Saturno, le epidemie di morbillo e l'insorgere degli attacchi di cuore. Un problema affrontato dagli studiosi dei fenomeni caotici è l'effetto farfalla: una farfalla che batte le ali in Cina può modificare il tempo a New York?



Lo sapevi che...

Sorprendentemente in questi fenomeni caotici è possibile trovare una sottile e complessa forma di regolarità, attraverso lo studio degli "attrattori strani". Nella crittografia si sta studiando la possibilità di sfruttare questa "regolarità" per trasmettere informazioni in modo sicuro, usando i segnali caotici.

ELETTRICITA' E MAGNETISMO

BATTERIA A MANO

Cosa fare e cosa notare:

Sul tavolo troverai due coppie di piastre di metallo diverso collegate ad uno strumento che misura il passaggio di correnti debolissime (*microamperometro*).

Appoggia le mani su due piastre diverse: noterai che la freccia dello strumento si sposta. Questo significa che sta passando corrente elettrica in un circuito formato da te, dalle due piastre, dai fili che le collegano allo strumento e dallo strumento stesso. Se inverti le mani, vedrai che la freccia si sposta nella direzione opposta. Se invece poggi le mani su due piastre dello stesso metallo non osserverai nessun passaggio di corrente.

Se ora provi a strofinarti o a bagnarti le mani prima di appoggiarle sulle piastre il fenomeno sarà ancora più vistoso. Appoggiando un dito alla volta è possibile osservare che maggiore è la superficie di contatto, maggiore è la corrente misurata.

Forma ora una catena con uno o più amici, tenendovi due a due per mano, con le mani alle due estremità della catena poggiate su due piastre di metallo diverso: la corrente misurata dallo strumento sarà tanto più bassa quanto più lunga è la catena.



Cosa accade?

Le due piastre sono fatte di due metalli diversi: rame e alluminio. Appoggiando le mani sulle piastre di metalli diversi e sfruttando la debole acidità del nostro corpo facciamo avvenire una reazione chimica che produce cariche elettriche (*ossidazione-riduzione*). Le cariche si producono sulla piastra di alluminio (*ossidazione*), attraversano il circuito e arrivano alla piastra di rame (*riduzione*) chiudendo un circuito elettrico.

Questo è il semplice principio di funzionamento della pila elettrica: il corpo umano svolge il ruolo che in una comune batteria è affidato all'acido e, quindi, l'effetto è tanto più evidente quanto più la pelle è umida.

Il corpo umano offre una certa resistenza al passaggio della corrente. La resistenza diminuisce quando aumenta la superficie di contatto, mentre aumenta collegando corpi *in serie*, come nel caso della catena umana.

Lo sapevi che...

Nel 1800 Alessandro Volta annunciò alla Royal Society inglese di poter produrre corrente con un apparecchio che "... non è che l'insieme di un numero di buoni conduttori di differente specie ... e un numero uguale di strati d'acqua o di qualche altro umore..." . Aveva inventato la pila.

ELETTRICITA' E MAGNETISMO

MOTORE ASINCRONO

Cosa fare e cosa notare

Su questo tavolo troverai un oggetto a forma circolare: si tratta di un disco di vetro al di sopra del quale c'è un cilindro di materiale magnetico (*magnete*), libero di ruotare intorno al suo asse. Poggia il disco sulla lastra di plexiglas trasparente, al di sotto della quale vi è un parallelepipedo intorno al quale sono avvolti fili di rame (*nucleo ferromagnetico*). Se tieni premuto il pulsante rosso, a destra del tavolo, noterai che il magnete cilindrico si metterà a ruotare. Prova ora a spostare il disco, anche di poco, facendolo scorrere sulla lastra di plexiglas e nota se cambia il verso di rotazione del magnete.

Prendi in una mano i piccoli magnetini dal loro alloggio di legno e metti la tua mano sopra il nucleo ferromagnetico, con il palmo rivolto verso l'alto. Premi ancora il pulsante rosso: sentirai una evidente vibrazione dei magnetini tra le tue dita.



Cosa accade?

Quando premi il pulsante rosso chiudi un circuito che consente il passaggio di corrente alternata negli avvolgimenti di rame intorno al nucleo. Questa corrente genera un campo magnetico che invade lo spazio circostante e di cui ci si accorge facilmente tenendo in mano i magnetini.

Questo campo magnetico varia periodicamente a causa dell'andamento alternato della corrente che alimenta la bobina. Il cilindro magnetico è costretto a ruotare perché alcune sue parti sono spinte e altre attratte dal campo magnetico. A seconda delle posizioni in cui si trova e quindi dalle linee del campo in cui è immerso, si può osservare che il cilindro ruota in un verso oppure nell'altro.

L'insieme descritto sopra è un motore del tutto simile ai *motori elettrici a campo magnetico rotante*, o *motori asincroni*, nei quali c'è una parte fissa (*statore*) e una parte mobile (*rotore*).

Lo sapevi che...

Il motore asincrono, uno dei dispositivi elettrici più utilizzati al mondo, fu inventato dall'ingegnere italiano Galileo Ferraris (1847-1896).

ELETTRICITA' E MAGNETISMO

PARACADUTE ELETTROMAGNETICO

Cosa fare e cosa notare

Tra le due barre di rame massiccio che formano questa colonna troverai due dischi appoggiati l'uno sull'altro: uno di plexiglas e l'altro di *ferrite*, materiale magnetico. Nota che entrambi, se vengono sollevati, possono scorrere liberamente tra due barre verticali.

Usa la maniglia fissata al disco di plexiglas per sollevare entrambi i dischi e, raggiunta la sommità, lasciali cadere liberamente. Mentre il disco di plexiglas cade con la velocità che ci aspettiamo da un corpo in caduta libera, quello di ferrite sembra essere frenato da un "paracadute invisibile".

Cosa accade?

I due dischi dovrebbero cadere insieme perché sono sottoposti alla stessa forza di gravità. Tuttavia ciò non accade: nella caduta c'è una forza che rallenta il disco di ferrite ma non quello di plexiglas.

Il disco di ferrite è *magnetizzato*, cioè è una calamita, e quindi genera un campo magnetico nello spazio circostante. Per il principio di induzione elettromagnetica, se un conduttore è immerso in un campo magnetico variabile vengono indotte al suo interno delle correnti dette *parassite*. Quando il disco di ferrite comincia a cadere le barrette di rame massiccio "sentono" il campo magnetico variabile generato dal disco e quindi al loro interno si generano correnti parassite. Tali correnti, a loro volta, producono un loro campo magnetico di reazione, che si oppone alla caduta del magnete. Questa caduta risulta, perciò, rallentata rispetto a quella del plexiglas che non ha natura magnetica.



Lo sapevi che...

Questo principio viene sfruttato nella frenatura dei treni. Durante la frenata un campo magnetico genera correnti parassite nella ruota metallica, le quali producono il campo di reazione che contribuisce a frenare la ruota.

ELETTRICITA' E MAGNETISMO

PULCI ELETTRICHE

Cosa fare e cosa notare

Sul tavolo è collocata una scatola quadrata, chiusa da una lastra trasparente di plexiglas e riempita di trucioli di piccole dimensioni. Strofinando vigorosamente il plexiglas con un panno di lana, si osserva la "danza delle pulci": i trucioli iniziano a saltare, passando ripetutamente dal fondo alla lastra di plexiglas e viceversa.

Noterai che alcuni trucioli restano attaccati alla lastra: lì si può far cadere semplicemente toccando il plexiglas con un dito.



Cosa accade?

Strofinandolo vigorosamente col panno di lana si riesce a "strappare" cariche elettriche negative alla lana e a depositarle sul plexiglas. Poiché il plexiglas è un cattivo conduttore, la carica resta localizzata dove è stata depositata.

Le cariche positive presenti in ogni truciolo nella zona sottostante a quella strofinata si spostano verso la parte alta del truciolo e le negative verso il basso. L'attrazione tra la carica negativa della lastra e quelle positive alla sommità dei trucioli può diventare talmente intensa da vincere la forza di gravità, consentendo al truciolo di saltare verso la lastra. Una volta toccata la lastra, la "pulce" cede la sua carica positiva e cade.

Quando tocchiamo la lastra di plexiglas scarichiamo la carica accumulata verso il terreno, comportandoci da "buoni conduttori".

Lo sapevi che...

L'accumulo di carica elettrostatica è responsabile delle scossettine che si avvertono, a volte, toccando la carrozzeria di un'automobile.

ELETTRICITA' E MAGNETISMO

TRASFORMATORE

Cosa fare e notare

I due avvolgimenti di rame sui supporti di plexiglas fanno parte di due circuiti elettrici separati: quello di sinistra è collegato alla rete elettrica e vi si può far circolare corrente agendo sulla manopola. La bobina di destra, invece, non è alimentata. In entrambi i circuiti è inserito uno strumento per misurare la corrente (*amperometro*).

Avvicina i due supporti di plexiglas e muovi la manopola, aumentando via via la corrente che circola nella bobina di sinistra (indicata dall'amperometro sinistro). Osserva l'amperometro a destra: noterai che misura una corrente. L'amperometro destro non misura più nulla quando la manopola viene bloccata, cioè quando la corrente nella bobina a sinistra è costante. Muovi ora velocemente la manopola avanti e indietro: provocherai un'oscillazione della freccia dell'amperometro a destra. Tenendo, ora, ferma la manopola in una posizione fissa, prova a muovere velocemente la bobina destra: noterai anche in questo caso l'oscillazione della freccia dell'amperometro destro.



Prendi, infine, una delle calamite appoggiate al tavolo e inseriscila all'interno della bobina destra: noterai che la corrente sarà nulla fin quando la calamita resta ferma, mentre muovendola potrai ancora una volta osservare il passaggio di corrente.

Cosa accade?

La corrente che circola nella bobina di sinistra produce un campo magnetico che invade lo spazio circostante. La *variazione* temporale di questo campo magnetico induce nella bobina a destra una corrente, letta dall'amperometro destro. Questa corrente indotta nella bobina destra è tanto maggiore quanto più rapida è la *variazione* del campo magnetico prodotto dalla bobina di sinistra. Questa variazione può essere ottenuta modificando la corrente nella bobina sinistra (muovendo velocemente la manopola), oppure variando la posizione reciproca delle due bobine.

Questo fenomeno è noto come *induzione elettromagnetica* ed è alla base del funzionamento delle macchine elettriche: nel *trasformatore*, ad esempio, viene alimentato un avvolgimento (*primario*) con una corrente alternata in modo da indurre una corrente alternata in un secondo avvolgimento (*secondario*). Il rapporto tra le correnti elettriche di primario e secondario è, in prima approssimazione, legato solo al rapporto tra il numero di avvolgimenti al primario e al secondario.

Lo sapevi che...

Nel "caricabatteria" del tuo cellulare c'è un trasformatore che abbassa la tensione dai 230 Volt della rete elettrica ai circa 5 Volt richiesti dal circuito di ricarica della batteria.

ARIA, ACQUA E SUONO

BOLLE DI SAPONE

Cosa fare e cosa notare

Hai a disposizione alcuni telai di ferro che riproducono modelli di note figure geometriche (cubo, elica, etc..) e due vaschette contenenti acqua saponata. Immergi uno di questi telai nell'acqua saponata ed estrailo delicatamente. Potrai osservare le meravigliose forme assunte dalla pellicola di sapone che si adagia su di esso. Osserva inoltre come sono brillanti i colori della pellicola.

Muovi il telaio con un ampio gesto del braccio, facendo in modo che la pellicola si chiuda su se stessa, producendo una o più bolle sferiche che lasciano il telaio. In particolari condizioni e con un po' di destrezza puoi anche ottenere una bolla di forma molto allungata, come quelle che si vedono in alcuni spettacoli televisivi.



Cosa accade?

Come per le comunissime bolle di sapone, la pellicola di sapone che si adagia alla struttura geometrica si crea per effetto dell'esistenza di una forza di coesione tra le molecole d'acqua, fenomeno che va sotto il nome di *tensione superficiale*. E' la stessa forza responsabile della creazione di quella sottile pellicola sul pelo dell'acqua di uno stagno, sulla quale alcuni insetti particolarmente leggeri riescono addirittura a camminare.

Quando si formano le bolle di sapone, la pellicola di acqua assume la forma geometrica che rende minima l'area occupata, situazione a cui corrisponde la minima energia. In aria la forma che minimizza l'area è la sfera (le classiche bolle di sapone, così come le gocce d'acqua, sono appunto sferiche). Quando la pellicola si forma su una struttura geometrica, la forma che assumerà dipenderà dal telaio usato. In realtà essendo questi telai delle strutture complesse, non esiste una sola forma per la bolla di sapone che vi si adagia, come puoi osservare rifacendo più volte l'esperimento con lo stesso telaio.

Lo sapevi che...

Le pellicole d'acqua si rompono velocemente se l'acqua è pura, a causa dell'elevata tensione superficiale. Il sapone (detto anche "tensioattivo") serve appunto a ridurre la tensione e quindi ad "allungare" la vita alle bolle.

ARIA, ACQUA E SUONO

CANNONE AD ARIA

Cosa fare e cosa notare

Un flusso d'aria molto potente fuoriesce da questo cannone, che si può inclinare con la manovella che trovi in basso. Accendi la ventola premendo il pulsante in basso a sinistra e, tenendo il cannone in verticale, lancia il pallone da spiaggia sulla bocca del cannone. Noterai che il pallone resterà sospeso in aria, imprigionato dal flusso dell'aria che proviene dal cannone. Questa posizione è di equilibrio stabile: se disturbi il pallone con la mano (senza ovviamente eccedere) questo tenderà a rimettersi nella posizione precedente.

Prova ora ad inclinare il cannone agendo sulla manovella: il pallone resterà sospeso anche con il cannone inclinato, fino a un certo grado di inclinazione oltre il quale prevarrà la forza di gravità che farà cadere a terra la palla.



Cosa accade?

Il fatto che il pallone venga spinto verso l'alto significa chiaramente che la pressione al di sotto del pallone è maggiore della pressione al di sopra. Più intrigante è la spiegazione della stabilità di questa situazione, che chiama in causa un noto principio del moto dei fluidi (*fluidodinamica*), enunciato dal fisico svizzero Bernouilli: quando un fluido è in movimento le parti che scorrono più veloci hanno minore pressione.

Quando il pallone viene spostato, anche leggermente, rispetto alla posizione "centrale", ad esempio a destra, sul lato sinistro la velocità aumenta, essendo più vicino al centro della bocca del cannone. Nasce quindi una differenza di pressione tra il lato sinistro ed il lato destro, che richiama la pallina verso l'asse stesso. Allo stesso modo, quando il cannone è inclinato la forza di gravità farebbe spostare il pallone in basso, ma la differenza di pressione tra il lato in basso e quello in alto richiama il pallone verso l'alto, compensando la gravità.

Lo sapevi che...

E' proprio la differenza di pressione tra la parte superiore di un aereo e la sua parte inferiore a farlo volare. Questa differenza è ottenuta facendo sì che l'aria scorra a velocità maggiore sopra l'aereo e minore al di sotto, grazie ad un opportuno profilo dell'aereo, in particolare delle ali.

ARIA, ACQUA E SUONO

IL DIAVOLETTO DI CARTESIO

Cosa fare e cosa notare

Nel bottiglia di plastica grande che hai di fronte è immersa una bottiglietta capovolta che scherzosamente chiameremo *diavoletto* (così era tradizionalmente chiamato l'oggetto in movimento negli esperimenti di Fisica). Osservando bene la bottiglietta noterai che è riempita d'acqua fino ad un certo livello.

Stringi la bottiglia di plastica e nota che il *diavoletto* scende a una certa profondità. Poi allenta la stretta e nota che l'oggetto risale immediatamente.

Premendo con una intensità variabile ti renderai conto facilmente che puoi determinare a tuo piacere la profondità dell'immersione. Nota che il livello dell'immersione dipende dal livello di riempimento del *diavoletto*.



Cosa accade?

Come saprai si deve al filosofo siracusano Archimede il principio che spiega che il galleggiamento di un oggetto è dovuto alla spinta *idrostatica* (detta appunto "spinta di Archimede") che riceve dal fluido in cui è immerso. Questa spinta è uguale al peso del volume del fluido che viene spostato: un oggetto galleggia in acqua se il suo peso è minore o uguale al peso dell'acqua che esso stesso ha spostato.

Il nostro *diavoletto* sposta un volume d'acqua pari al volume della bottiglietta, meno la parte di collo immersa in acqua. In condizioni di riposo questo è sufficiente a ricevere una spinta tale da galleggiare. Quando premi sulle pareti di plastica, essendo l'acqua *incomprimibile*, si produce un aumento di pressione in ogni punto all'interno della bottiglia, compreso il pelo d'acqua nel collo del diavoletto. Quando questo livello sale diminuisce il volume spostato dalla bottiglietta e quindi diminuisce la spinta che riceve dall'acqua, finché questa non è più sufficiente a tenerla a galla.

Lo sapevi che...

Nei sommergibili si sfrutta lo stesso principio: basta imbarcare acqua per immergersi ed espellere acqua per emergere.

ARIA, ACQUA E SUONO

IL FLAUTO DI PAN

Cosa fare e cosa notare

Prova ad appoggiare l'orecchio sulla parte inferiore di ciascun tubo e ascolta. Noterai che tubi di differenti lunghezze producono suoni diversi: i tubi più corti amplificano i suoni più acuti (gli "alti"), mentre quelli più lunghi evidenziano i suoni gravi (i "bassi"). L'effetto sarà più evidente se sposti l'orecchio in rapida successione da un tubo all'altro.

Nota in che modo cambia il suono quando l'orecchio aderisce completamente all'estremità del tubo: i suoni sembrano diventare leggermente più gravi.

Cosa accade?

Il rumore di fondo in questa sala è composto da tante tonalità: normalmente l'orecchio non sarebbe in grado di separarle, cosa che invece si riesce a fare usando questi tubi.

Quello che noi chiamiamo suono è un'onda, una vibrazione, che si sposta attraverso l'aria, alternando zone a pressione più alta a zone a pressione più bassa. Misurando con che velocità si alternano nel tempo le zone di alta e



bassa pressione si può calcolare la cosiddetta *frequenza* dell'onda. La differenza di tonalità dei suoni è dovuta proprio alla loro diversa frequenza: le alte frequenze corrispondono ai toni acuti, le basse a quelli gravi. Misurando invece lo spazio percorso da un'onda acustica in un tempo pari a quello di una vibrazione completa si ottiene la cosiddetta *lunghezza d'onda*, che quindi sarà maggiore per i toni a bassa frequenza (quelli, cioè, più lenti nel vibrare).

L'onda sonora entra dall'alto nei tubi, li percorre, subisce una riflessione all'estremità in basso e torna indietro andando ad interferire con le onde che sopravvengono. Se la lunghezza del tubo è un multiplo della lunghezza d'onda di un certo tono, quel tono viene esaltato da quel tubo, perché le onde incidenti e quelle riflesse si sommano rinforzandosi (*risonanza*). I tubi più lunghi rinforzano i toni con lunghezze d'onda maggiori, cioè quelli a frequenza più bassa (toni gravi), mentre accade l'opposto per quelli più corti.

Allorché l'orecchio chiude come un tappo l'estremità del tubo a cui viene appoggiato, le frequenze di risonanza diventano ancora più basse. Le frequenze di risonanza di un tubo chiuso a un lato sono la metà di quelle del tubo della stessa lunghezza, lasciato aperto.

Lo sapevi che...

Le canne dell'organo hanno una diversa lunghezza proprio perché assolvono a questo compito di "selezione" dei suoni.

ARIA, ACQUA E SUONO

IL SECCHIO DI NEWTON

Cosa fare e cosa notare

Poni in rotazione il secchio pieno d'acqua usando l'apposita manopola, girando prima lentamente e poi velocemente. Osserva cosa accade al pelo dell'acqua mentre il secchio ruota: dalla situazione di riposo iniziale in cui il profilo era piatto, passerai rapidamente ad una situazione in cui il profilo descrive una curva che ha il livello minimo al centro del secchio ed il livello massimo in corrispondenza delle sue pareti.

Cosa accade?

Durante la rotazione l'acqua assume quel profilo particolare per effetto della forza *centrifuga*, che tende ad allontanare i corpi in rotazione dal centro della rotazione stessa (il centro del secchio, nel nostro caso). Quindi, quando il secchio è in rotazione l'acqua tenderà ad allontanarsi dal centro del secchio e a schiacciarsi lungo le pareti: questo effetto, combinato con la forza di gravità, fa assumere all'acqua la forma detta *paraboloide di rotazione*.

Questo exhibit, all'apparenza molto semplice, riproduce un classico esperimento dibattuto per secoli e proposto da Newton, il quale voleva con esso dimostrare l'esistenza di un sistema di riferimento *assoluto*. Supponiamo che il secchio sia fermo e che tutto l'universo ruoti attorno a lui: l'acqua rimane immobile o risente della forza centrifuga? Secondo Newton non essendoci forze applicate al secchio l'acqua rimarrà ferma come il mare in calma piatta. La teoria della relatività ha oggi completamente cancellato il concetto di riferimento assoluto.



Lo sapevi che...

La forza centrifuga viene sfruttata, ad esempio, nella lavatrice di casa nostra, alla fine del lavaggio, per strizzare i panni contro le pareti del cestello.

ARIA, ACQUA E SUONO

NOTE A MEMORIA

Cosa fare e cosa notare

Premendo il pulsante destro (*nota di riferimento*) ascolterai una nota che dovrai memorizzare e cercare di ritrovare. Lascia il pulsante e ruota la manopola posta al centro del pannello: sentirai note che variano con continuità. Quando ritieni di aver individuato la nota giusta, premi il pulsante sinistro e leggi sul display il numero che vi appare. Se si tratta del numero 440, allora la tua memoria sonora è perfetta!

Con la manopola ferma sul numero 440 premi il pulsante della *nota di riferimento* in modo da ascoltare contemporaneamente le due note. Presta attenzione al suono che ascolti: è un suono curioso, d'intensità pulsante. Ruotando leggermente la manopola ti accorgerai che le fluttuazioni d'intensità aumenteranno o diminuiranno, a seconda del verso in cui la giri. Infine porta la manopola sul numero 220 e sul numero 880. Cosa noti nelle note che ascolti in corrispondenza di questi numeri?



Cosa accade?

Il *suono* è un'onda di pressione che si sposta attraverso l'aria, alternando zone a pressione più alta a zone a pressione più bassa. Misurando con che velocità si alternano nel tempo le zone di alta e bassa pressione si può calcolare la cosiddetta *frequenza* dell'onda. Due toni diversi sono suoni a frequenza diversa.

Il display visualizza la frequenza del suono che ascolti: la frequenza di 440 Hertz (numero di cicli al secondo) corrisponde alla nota musicale LA della terza *ottava* del pianoforte. Raddoppiando la frequenza (880 cicli) troverai la stessa nota musicale ma ad un'ottava superiore, mentre a 220 cicli troverai il LA della seconda ottava.

Le fluttuazioni che ascolti quando si sovrappongono due toni a frequenze molto vicine tra loro sono dette *battimenti*: quando il numero dei battimenti cresce troppo, circa 20 al secondo, non si riesce più a distinguere una fluttuazione sonora dall'altra. Le due note, in questo caso, producono insieme un suono piuttosto sgradevole, cioè una *dissonanza*.

Lo sapevi che...

Per legge: "...il suono di riferimento per l'intonazione di base degli strumenti musicali è la nota LA3, la cui altezza deve corrispondere alla frequenza di 440 Hertz...". Questa è la nota che produce il diapason, strumento usato per l'accordatura.

ARIA, ACQUA E SUONO

PELLICOLA COLORATA DI SAPONE

Cosa fare e cosa notare

In questo exhibit tirando la corda centrale puoi sollevare e abbassare un cilindro di plastica, libero di scorrere lungo due guide laterali,. Prima di iniziare controlla che il cilindro sia completamente immerso nell'acqua saponata. Tira lentamente la corda sollevando il cilindro: con un po' di delicatezza riuscirai a produrre una pellicola di sapone gigante.

Prova a deformare la pellicola, ad esempio soffiando lievemente da una distanza di una decina di centimetri. Prova poi a perforare la pellicola prima con la mano asciutta e poi con la mano bagnata nell'acqua saponata. Nel primo caso la pellicola si rompe, mentre nel secondo, se sei delicato, riuscirai a penetrare la pellicola e a deformarla senza romperla.



Osserva poi gli straordinari giochi di colore prodotti dalla luce che colpisce la pellicola.

Cosa accade?

Come accade in una comunissima goccia, le molecole di acqua vengono attratte da una forza di coesione nota come *tensione superficiale*, formando una sottile pellicola. Questa forza è troppo intensa nell'acqua pura e tende a rompere la pellicola nei punti in cui il suo spessore diminuisce. La pellicola resiste più a lungo se all'acqua viene aggiunto del sapone, che è in grado di abbassare questa tensione (e viene perciò detto *tensioattivo*). La forma di una pellicola d'acqua è quella che rende minima l'area occupata: in assenza di vincoli questa forma è la sfera (le comuni bolle di sapone). Per questo particolare telaio la forma della pellicola è una superficie piana: se provi a deformarla, la pellicola tenderà a riportarsi a quella forma come farebbe una membrana vibrante sollecitata dall'esterno.

Quando la luce colpisce la pellicola, le sue componenti si riflettono sulle due superfici (anteriore e posteriore) della pellicola e interferiscono tra di loro in maniera costruttiva o distruttiva a seconda dello spessore della pellicola e del colore della luce iniziale. Ad esempio se, in seguito alla riflessione, viene eliminata la luce rossa, allora il colore risultante è frutto della scomparsa di questa componente dallo spettro di luce bianca: vedremo una luce blu-verde. Siccome lo spessore della pellicola non è uniforme e cambia continuamente man mano che l'acqua fluisce, questi effetti sono in continua evoluzione.

Lo sapevi che...

Il sapone ed i detersivi sono usati per eliminare lo sporco proprio perché abbassano la tensione superficiale dell'acqua e ne facilitano la penetrazione nei tessuti da lavare.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

ARMONOGRAFO

Cosa fare e cosa notare:

Al centro di questo exhibit troverai un grande tavolo sospeso, libero di oscillare in varie direzioni. Accanto al tavolo c'è un supporto con un pennino ribaltabile. Sul tavolo c'è un'area bianca nella quale devi posizionare un foglio di carta, magari bloccandolo con i pesi a disposizione. Avvicina il supporto in modo che il pennino si trovi sopra il foglio, senza però abbassare il pennino stesso. Ora dai un delicato movimento al tavolo e lascialo oscillare liberamente. Abbassa il pennino in modo che possa scrivere sul foglio e fai attenzione a che nessuno tocchi il tavolo o le funi durante il moto.

Il pennino, seguendo le evoluzioni del tavolo, tratterà sulla carta un disegno molto intrigante, con traiettorie che si ripetono nella forma e si smorzano col passare del tempo. Osserva attentamente le traiettorie disegnate dal pennino: ci sono punti in cui il pennino torna ad ogni passaggio, mentre in altri tratti la distanza tra due passaggi successivi è notevole.



Cosa accade:

Il moto registrato dal pennino è conseguenza della possibilità che ha il tavolo di oscillare in due direzioni ortogonali (il lato corto e quello lungo) e dell'ulteriore possibile moto rotatorio provocato dalla torsione delle funi. Più precisamente le figure sul foglio descrivono la composizione del moto di due *pendoli lineari* e di un *pendolo di torsione*, ovviamente influenzata dalla spinta iniziale che hai dato.

Con il passare del tempo le evoluzioni tracciate sulla carta si smorzano per effetto dell'attrito nei punti di sospensione e con la penna stessa: per rallentare lo smorzamento e tracciare molte evoluzioni prima che il tavolo si fermi si sfrutta l'inerzia del tavolo: maggiore è l'inerzia, più tempo impiegherà per dissipare l'energia accumulata. Per questa ragione questo exhibit è stato realizzato con un tavolo molto grande e di massa notevole: l'inerzia di un oggetto, infatti, cresce all'aumentare delle sue dimensioni e della sua massa.

Lo sapevi che...

I grafici ottenuti dalla composizione di pendoli sono anche dette "figure di Lissajous", dal nome del fisico francese a cui si attribuiscono i primi armonografi, nel XIX secolo.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

BOTTIGLIE RISONANTI

Cosa fare e cosa notare:

Due bottiglie di plastica, piene di acqua, sono sospese ad una struttura realizzata con tubi di rame. Prova a mettere in oscillazione una delle due bottiglie quando l'altra è ferma. Osserverai come, man mano che si smorza il moto di oscillazione della bottiglia che hai mosso, l'altra bottiglia inizia ad oscillare con la stessa frequenza della prima. L'ampiezza delle sue oscillazioni aumenta man mano che si riduce quella delle oscillazioni della prima bottiglia, finché la prima bottiglia non si ferma e la seconda arriva a compiere l'oscillazione di ampiezza massima. Da questo momento in poi, la seconda bottiglia compirà oscillazioni minori, la prima si rimetterà in moto e così via. Questo "palleggiamento" delle oscillazioni delle bottiglie non avrebbe fine se non fosse per l'attrito che dissipa l'energia.

Cosa accade:

Le bottiglie sono *pendoli risonanti*, cioè sistemi che, posti in oscillazione, si scambiano energia grazie al mezzo che li mette in comunicazione (la struttura di rame che, non essendo completamente rigida, può trasmettere il moto). Lo scambio di energia tra questi due pendoli è efficace perché entrambi hanno la stessa frequenza naturale di oscillazione.

Nei pendoli la frequenza di oscillazione è legata solo alla lunghezza del filo e non al loro peso: te ne puoi rendere conto osservando che un'altalena oscilla sempre alla stessa frequenza anche se vi si seggono persone dal peso molto diverso. Le due bottiglie, di uguale forma, sono sospese con fili della stessa lunghezza, quindi sono pendoli con la stessa frequenza che possono scambiarsi energia tramite il fenomeno descritto, che è noto come *risonanza*.



Lo sapevi che...

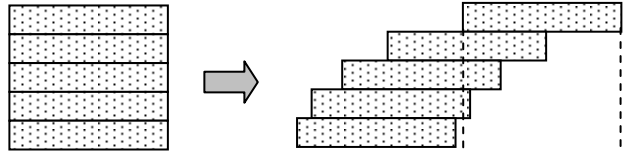
Mettendo vicini due diapason della stessa nota musicale (quindi aventi la stessa frequenza naturale) puoi farne vibrare uno e accorgerti che presto anche l'altro vibrerà: questa volta chi trasporta l'energia è l'aria, mezzo attraverso cui si propaga l'onda acustica.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

COMINCIA DA SOPRA

Cosa fare e cosa notare

Metti i blocchetti di legno uno sull'altro, in colonna, in modo da avere di fronte a te il loro lato più lungo. Cerca di spostare i blocchetti in modo che quello più in alto si trovi ad essere completamente al di là dello spigolo del blocchetto alla base della pila, come nella figura a lato. Nonostante l'apparente semplicità, ti renderai subito conto che non è affatto facile raggiungere questo obiettivo...



Due suggerimenti: comincia da sopra e tieni conto che per raggiungere lo scopo lo spostamento di un blocchetto non potrà mai essere uguale a quello del precedente. Verifica che quanto più numerosi sono i pezzi, tanto più piccolo è lo spostamento che riesci a realizzare prima che essi, sbilanciandosi, si rovescino. Sei in grado di fare lo stesso cominciando da sotto?

Cosa accade?

Ogni volta che muovi uno dei blocchetti non fai altro che cercare il centro di gravità di una pila costituita dal blocchetto che muovi più quelli che stanno sopra. Per poter raggiungere lo scopo devi seguire una precisa legge matematica: il primo blocchetto a partire dall'alto si deve muovere rispetto al secondo di una distanza non maggiore di $\frac{1}{2}$ della sua lunghezza, il secondo si muove rispetto al terzo di $\frac{1}{4}$ della sua lunghezza, il terzo di $\frac{1}{6}$ e così via. Il blocchetto che occupa la posizione contrassegnata col generico numero n si muoverà rispetto al successivo di una distanza pari ad $\frac{1}{2n}$ volte la sua lunghezza.



Lo sapevi che...

Nella Torre di Pisa l'inclinazione è di circa 5.5° e la settima cornice sporge rispetto alla prima di circa 4.5 metri.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

GARA IN DISCESA

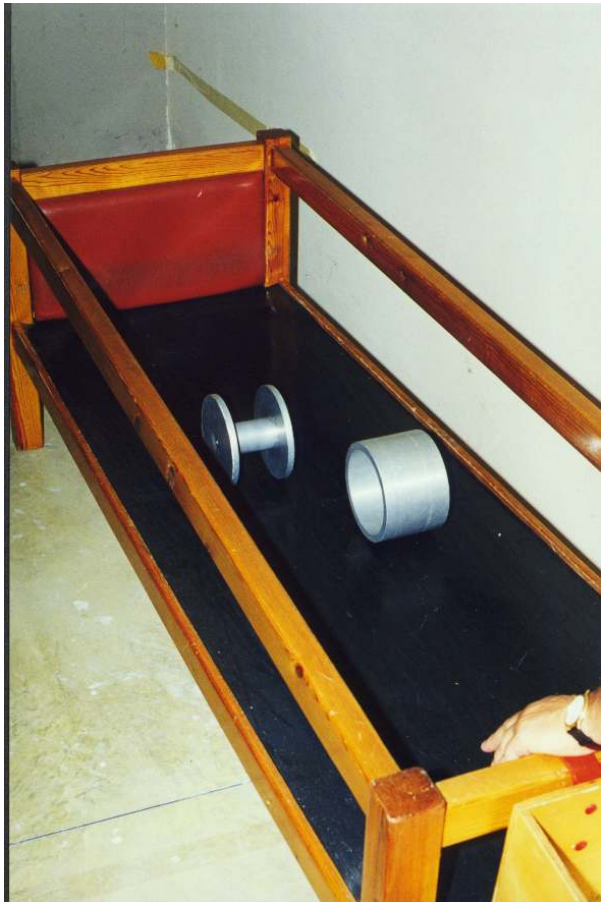
Cosa fare e cosa notare

Hai a disposizione due ruote metalliche che hanno lo stesso peso e lo stesso raggio e che differiscono solo per il modo in cui la massa è distribuita. Mettile entrambe in cima alla rampa e lasciale andare contemporaneamente. Chi pensi che vincerà la gara? La vittoria andrà sempre alla ruota che ha la sua massa distribuita prevalentemente sull'asse di rotazione.

Cosa accade?

Pur avendo le stesse dimensioni geometriche e lo stesso peso, le due ruote hanno una diversa distribuzione della massa, che dà come risultato un diverso comportamento rispetto al moto di "rotolamento" lungo il piano inclinato. Quando una ruota rotola ogni punto di essa si muove sia in avanti sia intorno al centro.

L'inerzia di un oggetto è la sua tendenza a resistere alla variazione del moto: nel moto di rotolamento lungo la rampa possiamo distinguere l'inerzia al moto rettilineo del centro di ciascuna ruota (*inerzia lineare*) e l'inerzia alla rotazione intorno all'asse (*inerzia angolare*). Poiché le ruote hanno la stessa massa complessiva offrono la stessa inerzia lineare. L'inerzia angolare, tuttavia, è diversa in quanto i punti che sono più vicini al centro quando ruotano compiono circonferenze di raggio minore, mentre i punti più vicini all'orlo della ruota devono percorrere più spazio poiché si muovono su circonferenze più grandi. Se una ruota ha un orlo pesante, gran parte della massa deve compiere una circonferenza di raggio maggiore, mentre se ha un "mozzo" pesante il percorso che compie la gran parte della massa sarà più breve.



Lo sapevi che...

Questo principio è alla base della concezione delle ruote in lega leggera, nelle quali la massa sull'orlo è minima e quindi è minima l'inerzia angolare.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

GIROSCOPIO

Cosa fare e cosa notare

Sposta il cilindretto mobile al centro dell'asse del giroscopio e metti in rapida rotazione entrambe le ruote nello stesso verso. Se il moto è disordinato, aggiusta lievemente con le mani l'asse del giroscopio in modo che questo punti in una direzione fissata. A questo punto prova a muovere il tavolo sottostante, facendolo ruotare su se stesso o spostandolo di lato. Noterai che l'asse di rotazione del giroscopio conserva lo stesso orientamento.

Dai ora dei colpettini sulla barra orizzontale: l'asse è abbastanza insensibile a questa azione se le ruote girano sufficientemente veloci. Il moto di tremolio che osservi si chiama *nutazione*.

Sposta ora il cilindretto dalla posizione centrale: noterai che il giroscopio comincia a ruotare intorno al suo asse verticale. Questo moto si chiama *precessione*.

Rimetti in moto le ruote, stavolta con versi opposti. Questa volta il giroscopio si comporta come se fosse fermo e non si osserva più il fenomeno della conservazione dell'asse di rotazione.



Cosa accade?

Le masse metalliche in rotazione posseggono un considerevole quantità di moto rotatorio (*momento angolare*) e per questo tendono a mantenere l'asse di rotazione nella posizione in cui è stato inizialmente messo (*legge di conservazione del momento angolare*). Tanto maggiore è la quantità di moto rotatorio di un corpo tanto maggiore deve essere l'azione torcente (*coppia di forze*) per cambiare l'asse di rotazione.

Gli spostamenti del tavolo e la forza di gravità (quando il cilindretto è nella posizione centrale) producono forze applicate vicino al centro geometrico del giroscopio (*baricentro*) e per questo motivo non possono fornire sufficienti azioni torcenti per modificare l'asse di rotazione. Piccole azioni torcenti possono essere ottenute muovendo il cilindretto lontano dalla posizione centrale o toccando l'asse del giroscopio. In questo modo si osservano i moti di *nutazione* e *precessione*. La quantità di moto rotatorio dipende dal verso di rotazione e se le ruote vengono fatte girare in senso opposto le loro quantità di moto rotatorio si neutralizzano.

Lo sapevi che...

Per la loro proprietà di conservare l'asse di rotazione i giroscopi sono utilizzati per il puntamento della direzione negli aerei, nelle navi e nei missili.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

IL PICCOLO CONTRO IL GRANDE

Cosa fare e cosa notare

Hai a disposizione una corda ai cui estremi sono attaccati due oggetti, uno più pesante e l'altro più leggero. La corda poggia su un perno di ferro, in modo che l'oggetto pesante è sospeso in aria, mentre quello leggero è bloccato da un fermo.

Rimuovi delicatamente l'oggetto leggero dal fermo e lascialo andare: contrariamente a quel che ti aspetti, l'oggetto pesante non cadrà ma sarà bloccato nella sua caduta dall'oggetto leggero che si attorciglia intorno al perno di ferro.



Cosa accade?

L'oggetto pesante, cadendo, percorre una traiettoria verticale rettilinea, mentre quello leggero, vincolato dalla corda, cade con una traiettoria curvilinea a spirale. Questa particolare traiettoria dipende dal fatto che la lunghezza della corda tra l'oggetto leggero e il perno si riduce progressivamente, trainata dalla caduta dell'oggetto pesante.

L'oggetto leggero, raggiunti i punti più bassi della sua traiettoria a spirale, continua per inerzia la sua corsa verso l'alto, come farebbe un pendolo, ed essendosi accorciato il raggio rispetto a quello iniziale, riesce a girare intorno al perno attorcigliandosi. La forza centrifuga dell'oggetto leggero arresta la corsa di quello pesante e, successivamente, l'attrito che si genera tra la corda ed il perno ne impedisce la caduta.

Lo sapevi che...

A volte quando l'oggetto leggero finisce di ruotare batte elasticamente sul perno e torna a ruotare in senso inverso, srotolando la corda. L'attrito in questo modo diminuisce e l'oggetto pesante cade.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

LE RUOTE QUADRATE

Cosa fare e cosa notare

Sul tavolo sagomato troverai una ruota quadrata. Metti la ruota sul blocco di partenza in alto e spingile verso il percorso ondulato: vedrai la ruota quadrata rotolare!

Nota come il moto di rotolamento ricordi in tutto e per tutto il moto delle classiche ruote circolari. Se poni attenzione ti accorgerai facilmente che l'asse della ruota si mantiene ad un'altezza costante.

Cerca ora di mettere in equilibrio la ruota inserendo uno spigolo in uno degli angoli del percorso e poi dai una leggera spinta verso un lato o l'altro: noterai che la ruota restano in equilibrio in tutte le posizioni.



Cosa accade

La sagoma del percorso non è ovviamente casuale, ma è stata studiata in modo che il centro di gravità della ruota durante il suo moto si trovi sempre sopra il punto in cui il quadrato tocca il percorso, esattamente come accade ad una ruota che rotola su un percorso piano. Questo vuol dire che la ruota è sempre in equilibrio (né cade, né sale): il suo centro di gravità rimane sempre alla stessa altezza. Per ottenere questo risultato, la sagoma del percorso deve essere realizzata con tratti di una curva matematica detta *catenaria*.

Su un tracciato opportunamente sagomato si possono far rotolare facilmente un gran numero di ruote di differenti forme. Tutti i poligoni regolari rotolano tranquillamente su una serie di archi di catenaria se questi hanno le giuste dimensioni. In particolare, nel nostro caso, un quadrato di dimensioni diverse non potrebbe ruotare perché la lunghezza dell'arco dell'elemento del tracciato deve essere uguale alla lunghezza del lato del quadrato. Ruote triangolari non funzioneranno mai perché gli angoli restano intrappolati negli avvallamenti.

Lo sapevi che...

L'arco di catenaria è la curva descritta da una catena (o da una fune pesante) sospesa alle due estremità: sono archi di catenaria, ad esempio, le curve descritte dai cavi elettrici sospesi tra due tralicci.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

PRECESSIONE DELLA RUOTA

Cosa fare e cosa notare

Prendi una delle ruote di bicicletta dal supporto, reggendola per i manici. Se la ruota è ferma non avrai nessuna difficoltà a muoverla, ma se la metti in rapida rotazione intorno al suo asse reggendola per un manico ti accorgerai che ora non è più così facile spostarla.

Con la ruota in rotazione, infila uno dei suoi manici nella fascetta di cuoio appesa al supporto: la ruota non cadrà finché continuerà a girare su se stessa, ma man mano che cede energia il suo asse si inclina e il suo manico libero tende a cadere. Prova a mettere in moto la ruota variando la posizione iniziale del manico e nota che, quando questo è quasi verticale, la ruota tende a salire invece che a cadere subito.



Cosa accade?

Tutti gli oggetti, una volta posti in rotazione, tendono a conservare l'asse di rotazione (*conservazione del momento angolare*) e la tendenza ad opporsi ad ogni variazione del loro moto (detta *inerzia*) è tanto maggiore quanto più veloce è la rotazione. Quando la ruota è ferma non c'è rotazione e quindi non c'è "nulla" da conservare: ogni azione compiuta su di essa non trova impedimenti. Quando invece la metti in rotazione, la forza che ti ostacola è proprio dovuta all'inerzia della ruota in movimento, che si oppone ad ogni movimento che ne sposta l'asse di rotazione.

Quando la ruota, messa in rotazione, viene appesa con un solo manico alla fascetta, la forza di gravità tende a farla cadere. La ruota resisterà tanto più a lungo alla forza di gravità quanto più è veloce la rotazione iniziale: l'inerzia della ruota, infatti, dipende sia dalla massa, sia da come questa massa è distribuita e sia dalla velocità di rotazione.

.

Lo sapevi che...

Il volano è un disco molto pesante applicato all'albero di un'automobile che, una volta in rotazione, cede energia molto lentamente e regolarizza la rotazione dell'albero in corrispondenza dei punti morti del motore.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

RUOTA DI BICICLETTA GIROSCOPICA

Cosa fare e cosa notare

Siediti sullo sgabello, togli i piedi dalla pedana e osserva che lo sgabello può ruotare con poco attrito intorno al suo asse verticale. Chiedi a qualcuno di mettere in rapida rotazione una delle ruote di bicicletta poste nel loro supporto, e fattela dare mentre è in rotazione in modo da reggerla con le mani (usa i manici predisposti). Fai attenzione a non frenare la rotazione della ruota.

Prova, ora, ad inclinare velocemente l'asse della ruota verso una direzione: avvertirai una forza che ti farà ruotare con lo sgabello in una certa direzione. Se provi ora ad inclinare la ruota nel verso opposto, ti accorgi che lo sgabello ruoterà nella direzione opposta.

Riponi la ruota e mettiti in rotazione sullo sgabello. Prova a girare prima allargando braccia e gambe e poi rannicchiandoti il più possibile intorno al tuo asse (avvicinando mani e piedi al busto): nel secondo caso noterai un evidente aumento della velocità di rotazione.



Cosa accade?

Quando si cerca di far cambiare la direzione dell'asse di rotazione di un qualunque oggetto si sperimenta una reazione che tende ad opporsi a questo cambiamento (*conservazione del momento angolare*). La reazione che l'oggetto oppone ad ogni tentativo di cambiarne l'asse di rotazione sarà tanto più intensa quanto più rapida è la rotazione oppure quanto più grande è l'inerzia alle rotazioni dell'oggetto stesso. Questa inerzia può essere aumentata allontanando le masse dell'oggetto dall'asse di rotazione.

Questo principio di conservazione, benché poco noto, è in realtà sotto gli occhi di tutti in numerose applicazioni pratiche quotidiane: lo sfruttano, ad esempio, i pattinatori sul ghiaccio, che si rannicchiano quando vogliono aumentare la loro velocità di rotazione.

Lo sapevi che...

E' più facile stare in equilibrio su una bici in moto piuttosto che su una ferma, proprio perché quando le ruote girano tendono a conservare il loro asse di rotazione.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

STECCA IN EQUILIBRIO

Cosa fare e notare

La stecca a disposizione è dotata di un cilindro mobile che può essere spostato in qualsiasi posizione della stecca stessa. Cerca di reggere la stecca sulla punta di un dito senza farla cadere.

Prova a mantenerla in equilibrio sia quando il cilindro è in alto, sia quando lo sposti in basso: ti accorgerai, non senza una certa sorpresa, che è più semplice reggere la stecca quando il peso è nel punto più in alto!

Cosa accade?

Per mantenere la stecca in equilibrio devi reagire con prontezza alle inclinazioni che essa subisce, per effetto della forza di gravità. La stecca per cadere deve ruotare intorno al perno fornito dal nostro dito: la sua rotazione sarà più o meno veloce a seconda dell'*inerzia*, cioè della resistenza alla rotazione che offre la stecca stessa.

Quando il peso è in alto la stecca ha una grande inerzia alle rotazioni e quindi tende a inclinarsi più lentamente, rendendoci più agevole il compito di bilanciare il suo movimento e mantenere l'equilibrio. Quando invece il peso è in basso la sua inerzia alla rotazione diminuisce e accade l'opposto.



Lo sapevi che...

I giocolieri tengono in equilibrio dei piatti su bastoni lunghi: contrariamente a quel che ci direbbe l'intuito, tanto più lungo è il bastone, tanto più semplice è il compito del giocoliere.

EQUILIBRIO E MOVIMENTO

URTO ELASTICO

Cosa fare e cosa notare:

Sei sfere d'acciaio sono libere di oscillare, sospese con cavi metallici alla struttura. Divertiti a far oscillare questi pendoli, sollevando le palline estreme e lasciandole cadere, facendole urtare tra di loro.

Cosa noti quando lanci una sola pallina? E quando ne lanci due, tre e così via?

Cosa accade?

Se lanci una sola pallina questa urterà la pallina più vicina, ma l'unica pallina a muoversi sarà l'ultima della fila. Questo fenomeno è conseguenza di un urto *elastico*. Nell'urto tra due palline si conserva la *quantità di moto* che si ottiene moltiplicando la massa per la velocità. Un urto nel quale si conserva anche l'energia associata al movimento (*energia cinetica*) si dice *elastico*. Un urto invece è *anelastico* quando una parte o tutta l'energia cinetica si trasforma (ad esempio viene dissipata per deformare gli oggetti che si urtano). Nel nostro caso le palline di acciaio sono indeformabili, l'urto è elastico e quindi si conserva sia la quantità di moto che l'energia cinetica.



Per effetto di queste due leggi di conservazione, due palline che si urtano si scambiano le velocità: la prima si ferma e la seconda riparte con una velocità identica a quella della prima. Se le palline si muovono lungo una stessa retta, come in questo caso, questo urto si propaga fino all'estremità opposta, mettendo in moto l'ultima pallina, che è libera di oscillare. Lanciando contemporaneamente due palline vedremo che il moto si trasferisce alle due ultime palline dal lato opposto, perché abbiamo raddoppiato la quantità di moto.

Lo sapevi che...

Questo exhibit, di cui è diffusissima la versione giocattolo, è noto come "pendolo di Newton", sebbene in realtà sia stato ideato dal fisico inglese Hooke per una dimostrazione alla Royal Society nel 1666.