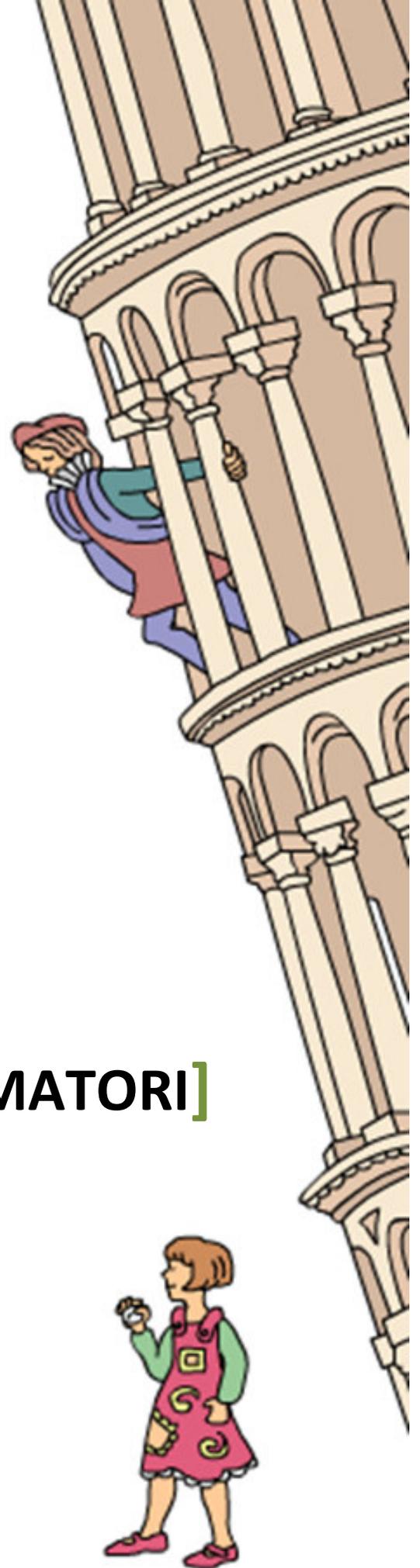


2009

LUS[®]

[MANUALE PER GLI ANIMATORI]



Sommario

PREMESSA ALL'EDIZIONE 2009	4
1] PERCORSO - Il piano inclinato e la gravità	5
2] PERCORSO - Il pendolo, la velocità della luce, il gps	8
3] PERCORSO - La luce e i colori: riflessione, diffusione e rifrazione	10
4] PERCORSO - Osservazioni celesti	12
5] PERCORSO - I suoni e gli strumenti musicali	14
6] PERCORSO - Il galleggiamento dei gravi in un fluido	15
MECCANICA	16
BIGLIE DI NEWTON	17
CHI SI FERMA PRIMA?	18
MAGIA DELLE FIBRE	19
PARADOSSO MECCANICO	20
PENDOLI ACCOPPIATI	21
IL PENDOLO CAOTICO DETERMINISTICO.....	23
OSTINATO	24
ELETTROMAGNETISMO	30
MOTORE ELETTRICO	31
INDUZIONE ELETTROMAGNETICA	32
CALAMITA A FERRO DI CAVALLO.....	33
FILO IN MOVIMENTO	35
DISCHI VOLANTI	36
LA LOCOMOTIVA PRUDENTE	37
OTTICA	38
LUCE DAI CD	39
STRESSOMETRO DI CHELLA	40
LA REALTÀ A QUADRETTI.....	41
L'APPARENZA INGANNA	42
DUE UGUALI, MILLE DIVERSI	44
SPECCHI.....	46
IL MULINO A LUCE.....	47
PARABOLOIDI	49

RIFLESSIONE E RIFRAZIONE DELLA LUCE.....	51
TERMODINAMICA.....	55
IL TERMOMETRO DI GALILEO	56
SE MI AGITI MI CONGELO.....	57
SUDO FREDDO.....	59
LA DANZA DELL'ACQUA	60
L'AMPOLLA MAGICA.....	62
PALLONCINO.....	64
II FILO FANTASMA	65
LA MANO E IL CALORE	67
ACUSTICA.....	68
VOLA FARFALLA.....	69
BASTONI DELLA PIOGGIA	70
CHIMICA	72
OROLOGIO A FRUTTA.....	73
È ACIDO?	74
ACQUA E OLIO: MISCELA IMPOSSIBILE?.....	75
DIVERTIAMOCI CON LE MONETINE DI RAME	76
GONFIARE UN PALLONCINO.....	77
SE CI SIETE... VI VEDO!.....	78
SISTEMI COMPLESSI.....	80
TRANSIZIONE AL CAOS.....	81
APPENDICI	84
LA FORZA DELLA PRESSIONE.....	85
INTERFEROMETRO DI MICHELSON	86
LASER	87
DIFFRAZIONE DELLA LUCE ATTORNO A UN PICCOLO OGGETTO	91
DIFFRAZIONE DI YOUNG DA UNA E DUE FENDITURE.....	92
ILLUSTRAZIONE DELLA FORZA DI LORENTZ.....	93
LEVITAZIONE MAGNETICA	94
POLAROID.....	96
APPROFONDIMENTI DI ACUSTICA.....	102

Premessa all'edizione 2009

In questa settima edizione, che nasce sotto il segno delle celebrazioni dell'anno galileiano, la novità principale è rappresentata proprio dalla presentazione di una serie di esperienze ispirate a Galilei. Inoltre, questi esperimenti tematici “da Galileo ai giorni nostri” verranno, poi, sviluppati e potenziati nell'ambito del progetto “Sotto il segno di Galileo – Luoghi della Scienza in Toscana” iniziativa promossa a fine settembre dalla Direzione generale politiche formative, beni e attività culturali della Regione Toscana, in cui la Ludoteca Scientifica è stata inserita. Si tratta di sei itinerari tematici in onore del grande scienziato pisano che riproducono altrettanti esperimenti come punto di partenza per arrivare a guardare al presente e al futuro, con il commento originale delle sue opere a fare da guida:

1) LA GRAVITÀ: dal piano inclinato di Galileo a Virgo, il rivelatore di onde gravitazionali più grande d'Europa.

2) LA MISURA DEGLI INTERVALLI DI TEMPO: dal pendolo galileiano agli orologi atomici dei navigatori satellitari.

3) LUCE E COLORI: dagli esperimenti di Galileo con specchi e lenti per riflettere, diffondere e disperdere la luce ai polaroid e le fibre ottiche dei nostri giorni.

4) OSSERVAZIONI CELESTI: dal cannocchiale di Galileo ad Hubble, il telescopio spaziale di ultima generazione... immaginando Glast, il rivelatore di raggi gamma che ci consentirà di vedere il cielo sotto una nuova luce.

5) CENTO MODI DI FAR SUONI E VOCI: dalla lezione “cento modi di far voci e suoni” nella favola di Galileo Lo zufolo e la cicala, alle musiche virtuali del nuovo millennio, create muovendo le mani in aria... senzastrumenti

6) IL GALLEGGIAMENTO DEI CORPI NEI FLUIDI: dal termometro di Galileo ai moderni rilevatori di temperatura a cristalli liquidi.

1] PERCORSO - Il piano inclinato e la gravità

DISCORSI, giornata 3°:

....è lecito aspettarsi che, qualunque grado di velocità si trovi in un mobile, gli sia per sua natura indelebilmente impresso, purchè siano tolte le cause esterne di accelerazione o ritardamento; il che accade soltanto nel piano orizzontale; infatti nei piani declivi è di già presente una causa di accelerazione; mentre in quelli acclivi [è già presente una causa] di ritardamento: da ciò segue parimenti che il moto sul piano orizzontale è anche eterno; infatti, se è equabile, non scema o diminuisce, nè tanto meno cessa"

Galileo studia ciò che la natura gli offre:

- la caduta dei gravi (moto accelerato),
- il moto degli astri nel cielo (moto uniforme) e
- il moto dei proiettili (composizione di moto accelerato e uniforme).

Il problema principale da cui Galileo parte è il moto. Per studiarlo occorre studiare il tempo e lo spazio. E lo studio deve essere quantitativo.

SALVIATI:

Passeremo dunque a più sottile e nuova contemplazione intorno al moto naturalmente accelerato, quale è quello che generalmente è esercitato da i mobili gravi descendent

Un grande problema è costituito dalla misura di piccoli intervalli di tempo, fatto che si presenta, ad esempio, nello studio degli oggetti in caduta. A questa difficoltà Galileo sopperisce "rallentando" la caduta mediante un **piano inclinato**: anziché far cadere un oggetto verticalmente egli usa delle sfere che "cadono" lungo un piano inclinato. In questo modo, il medesimo fenomeno di caduta avviene in un tempo maggiore, tale da poter essere registrato dagli strumenti di misura di Galileo.

Cos'è allora che produce variazioni di velocità ?

Galileo assume che le VELOCITÀ finali acquistate dalle sfere su piani diversamente inclinati siano uguali allorché sono uguali le elevazioni di quei piani. Galileo osserva che le distanze percorse in tempi uguali dalla sfera sul piano inclinato, sono proporzionali a 1,3,5,7 volte la lunghezza percorsa nel primo intervallo di tempoovvero la palla percorre tratti sempre maggiori le cui lunghezze crescono come una successione di numeri dispari. Nota che la successione dei numeri dispari ha una simpatica caratteristica, la somma dei primi n numeri è pari proprio al quadrato di n (provaci!).... un fatto ben noto matematicamente!

Da quanto detto se ne deduce che lo spazio s percorso, per esempio dopo n secondi, è proporzionale proprio a n^2 !

Oggi sappiamo bene che il coefficiente di proporzionalità è pari alla accelerazione a divisa per 2 e scriviamo:

$$1) s = \frac{1}{2}at^2$$

L'accelerazione con cui il corpo percorre il piano inclinato è dovuta alla componente del peso parallela al piano stesso, diviso per la massa, quindi per esempio nel primo caso

$$2) a = g \sin \alpha$$

D'altra parte la velocità cresce linearmente con il tempo e quindi alla fine del percorso quando la sfera è in fondo al piano inclinato ed il tempo passato è t abbiamo:

$$3) v = g(\sin\alpha)t \text{ ovvero } t = v/g(\sin\alpha)$$

ma poichè t è anche il tempo per percorrere la lunghezza L del piano inclinato dalla 1) segue

$$4) L = 1/2g(\sin\alpha) t^2$$

ora elimini il tempo dalle 3) e 4) e con un po' di conti trovi:

$$5) v = \sqrt{2Lg\sin\alpha} = \sqrt{2gh}$$

e scopri che la velocità finale della palla dipende solo dall'altezza del punto di partenza del piano inclinato e non dalla sua inclinazione.

Galileo scopre empiricamente la legge 5) e ne deduce che la caduta di un grave è intesa come caso limite di un piano inclinato la cui inclinazione è 90 gradi.

D'altra parte poichè le componenti della velocità dipendono dall'angolo di inclinazione e cioè $v\cos\alpha$ quella orizzontale e $v\sin\alpha$ la verticale, il Galilei si rese conto che doveva essere possibile determinare l'accelerazione di gravità.

Poichè il moto della sfera dipende dall'angolo di inclinazione del piano, con semplici misure ad angoli differenti riuscì a ottenere un valore di poco inferiore a quello oggi noto (9,80665 m/s²), a causa di errori sistematici dovuti all'attrito, che non poteva essere completamente eliminato. Poi il Galilei allinea due piani inclinati e scopre che la sfera lasciata cadere lungo il primo piano, risale sul secondo fino all'altezza da cui era partita!

Un fenomeno che è conseguenza diretta, come oggi ben sappiamo, della **conservazione dell'energia** meccanica. Purtroppo il Galilei non enunciò il fenomeno in una legge scritta, forse perchè in quei tempi non era ancora noto il concetto di energia che appare solo un secolo dopo Galileo. Ma il piano inclinato gioca in Galileo un ruolo molto più importante: ogni fenomeno viene ricondotto ad esso e, tramite esso, studiato nei suoi dettagli.

Un altro moto che si presenta a Galileo è quello dei proiettili. Anche qui egli riesce a scomporre il moto in due componenti attraverso un uso intelligentissimo del piano inclinato: La traiettoria parabolica dei proiettili è una traiettoria uguale a quella che segue una sfera che sia lasciata cadere obliquamente su un particolare piano inclinato. Questo moto è dato dalla composizione di due moti: uno (quello orizzontale) uniforme e uno (quello verticale) accelerato.

-) **Obiettivi:**

Piano inclinato e gravità'- relazione spazio percorso - tempo impiegato

-) **Condizione dell'esperienza:**

Si osserva che la velocità del grave sul piano inclinato cresce progressivamente ed in particolare il suo ritmo di crescita, o accelerazione, appare costante:

$$v = a \cdot t$$

Valutiamo il cammino L , percorso in un generico tempo t , iniziando con velocità nulla: la velocità cresce dal valore 0 al valore $a \cdot t$.

Con quale velocità costante si copre lo stesso percorso? E' ragionevole assumere per tale velocità costante il valore intermedio della velocità effettiva tra i suoi valori iniziale e finale , cioè tra 0 e a.t, ossia $1/2 a.t$ a cui corrisponde uno spazio percorso pari a

$$L = 1/2 (a \cdot t) \cdot t$$

La rappresentazione grafica della velocità in funzione del tempo e' un segmento e l'area del triangolo che esso sottende rispetto all'asse dei tempi e' pari ad $1/2 a \cdot t \cdot t$, ed equivale allo spazio percorso. Tale valore si puo' anche scrivere in altre forme

$$L = 1/2 a \cdot t \cdot t = 1/2 v \cdot t = 1/2 v \cdot v/a$$

e quindi

$$v \cdot v = 2 a \cdot L$$

Se α e' l'angolo di inclinazione del piano rispetto alla direzione orizzontale, l'accelerazione e'

$$g \sin(\alpha)$$

e quindi

$$v \cdot v = 2 g \sin(\alpha) L$$

e poiché $L \sin(\alpha)$ e' il dislivello h , secondo la verticale, tra le quote di partenza e di arrivo, concludiamo che la velocità di arrivo

$$v = \text{radice quadrata di } 2 g h$$

dipende solo da tale dislivello e non dall'inclinazione del piano.

'Da quanto dimostrato sembra si possa ricavare che il movimento più veloce da estremo ad estremo, non avviene lungo la linea più breve, cioè la retta, ma lungo un arco di cerchio.'

Discorsi, terza giornata, teorema22, proposizione 36.

Galileo dimostra soltanto che il percorso su un arco di cerchio è un movimento più veloce rispetto alla retta .. ma quale è il percorso più veloce di tutti? La CICLOIDE!

Nel moto di un grave, tra un punto di partenza ed un punto di arrivo, la traiettoria rettilinea da senz'altro la MINIMA DISTANZA percorsa. E' anche la più veloce? Se la traiettoria e' una curva, che quindi presenta diverse inclinazioni, e se in un primo tratto, la sua inclinazione e' maggiore di quella rettilinea di riferimento, mentre nel successivo e' minore, possiamo chiederci se si compensano gli effetti delle differenti accelerazioni (all'inizio la velocità "cresce" più rapidamente, dopo la "crescita" è minore, ma "comincia" da un valore più alto). Galileo aveva già osservato che seguendo un arco di circonferenza il tempo di caduta e' più breve di quello che si ottiene seguendo la relativa corda. Il problema si risolve con adeguati strumenti matematici e si dimostra che la curva "cicloide" rappresenta un profilo seguendo il quale si ha il MINIMO TEMPO di percorrenza.

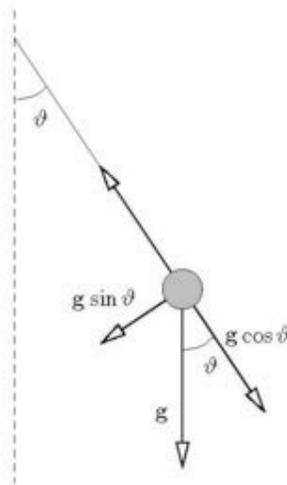
PERCORSO 1:

- PIANI INCLINATI DI DIVERSA LUNGHEZZA
- CICLOIDE E LINEA RETTA
- PARADOSSO MECCANICO
- CHI SI FERMA PRIMA (conservazione dell'energia)
- LA LOCOMOTIVA PRUDENTE

2] PERCORSO - Il pendolo, la velocità della luce, il gps

SALVIATI: “puntualissimamente l'istesso pendolo fa tutte le sue vibrazioni, massime, mediocri e minime, sotto tempi precisamente eguali”(…) “Quanto poi alla proporzione de i tempi delle vibrazioni di mobili pendenti da fila di differente lunghezza, sono essi tempi in proporzione suddupla delle lunghezze delle fila, e vogliam dire le lunghezze esser in duplicata proporzion de i tempi, cioè son come i quadrati de i tempi; sì che volendo, v.g., che 'l tempo d'una vibrazione d'un pendolo sia doppio del tempo d'una vibrazione d'un altro, bisogna che la lunghezza della corda di quello sia quadrupla della lunghezza della corda di questo; ed allora, nel tempo d'una vibrazione di quello, un altro ne farà tre, quando la corda di quello sarà nove volte più lunga dell'altra: dal che ne sèguita che le lunghezze delle corde hanno fra di loro la proporzione che hanno i quadrati de' numeri delle vibrazioni che si fanno nel medesimo tempo.”

Questo strumento è semplicemente composto da una pietra legata ad un filo sottile e inestensibile: se questo ha una lunghezza di un metro, si ottiene un'oscillazione della durata di circa due secondi. La periodicità nel moto del pendolo non fu l'unica osservazione dello scienziato pisano: notò, infatti, che a parità di lunghezza del filo e di peso del sasso, l'oscillazione dura la stessa quantità di tempo al variare dell'ampiezza, a patto che questa non sia eccessiva.



La legge periodica del pendolo (detto pendolo semplice) è infatti:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

6)

dove T è il periodo di oscillazione, L la lunghezza del filo e g l'accelerazione di gravità. Si può notare che la legge di oscillazione è indipendente dalla massa e dall'ampiezza dell'oscillazione stessa, ovvero dall'angolo tra la posizione iniziale e quella centrale di minimo.

Per oscillazione completa di un pendolo si intende il movimento della sferetta del pendolo dal punto iniziale di oscillazione allo stesso punto di partenza passando per l'altro estremo. Quindi il movimento da un estremo all'altro è una mezza oscillazione.

PERCORSO 2 (misura di un intervallo di tempo)

- pendolo lungo = lento
- pendolo corto = veloce
- due pendoli uguali sincroni ed accoppiati
- pendolo pazzo
- pendolo pigro
- pendolo inclinato
- un nanosecondo misurato con un righello di circa 30 cm (1ns = 0,000.000.001 sec)
- c (celeritas) = 299 792 458 m/sec
- il GPS

Nota:

A velocità prossime a quella della luce, invece, diventa evidente dai risultati sperimentali che la regola additiva non è più valida. Due astronavi, ognuna viaggiante al 90% della velocità della luce relativamente a un osservatore posto tra di esse, non si percepiscono in avvicinamento al 180% della velocità della luce. La velocità apparente è leggermente inferiore al 99,5% della velocità della luce. Il gps: interrogando almeno 3 satelliti abbiamo due punti nello spazio, il quarto satelliti ci dà la nostra posizione



Il principio di funzionamento si basa su un metodo di posizionamento sferico, che consiste nel misurare il tempo impiegato da un segnale radio a percorrere la distanza satellite-ricevitore.

Gli orologi satellitari sono affetti dalle conseguenze della teoria della relatività di Einstein. Il gps, con le dovute correzioni della teoria della relatività di Einstein, e' il dispositivo che permette di misurare intervalli di tempo piccolissimi [qualche decina di nanosecondi in coincidenza con eventi lontanissimi come gli sciami di raggi cosmici] e di verificare la validità della teoria della relatività.

L'effetto relativistico rilevato è infatti esattamente corrispondente a quello calcolabile teoricamente, almeno nei limiti di accuratezza forniti dagli strumenti di misura attualmente disponibili.

http://it.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System

http://www.geotop.it/laser_mmGPS.htm

SISTEMA TOPCON mmGPS®L'UNICO CON PRECISIONE MILLIMETRICA

3] PERCORSO - La luce e i colori: riflessione, diffusione e rifrazione

“...si figuri V. S. Illustrissima d'esser lungo la marina in tempo ch'ella sia tranquillissima, ed il Sole già declinante verso l'ocaso: vederà nella superficie del mare ch'è intorno al verticale che passa per lo disco solare, il riflesso del Sole lucidissimo, ma non allargato per molto spazio; anzi, se, come ho detto, l'acqua sarà quietissima, vederà la pura immagine del disco solare, terminata come in uno specchio. Cominci poi un leggier venticello a increspate la superficie dell'acqua: comincerà nell'istesso tempo a veder V. S. Illustrissima il simulacro del Sole rompersi in molte parti, ma allargarsi e diffondersi in maggiore spazio; e benché, mentre ella fosse vicina, potrebbe distinguer l'un dall'altro de i pezzi del simulacro rotto, tuttavia da maggior lontananza non vedrebbe tal separazione, sì per l'angustia degl'intervalli tra pezzo e pezzo, sì pel gran fulgor delle parti splendenti, che insieme s'anderebbono mescolando e facendo l'istesso che molti fuochi tra sé vicini, che di lontano appariscono un solo. Cresca in onde maggiori e maggiori l'increspamento: sempre per intervalli più e più larghi si distenderà la moltitudine degli specchi, da' quali, secondo le diverse inclinazioni dell'onde, si rifletterà verso l'occhio l'immagine del Sole spezzata. Ma recandosi in distanze maggiori e maggiori, e per poter meglio scoprire il mare montando sopra colline o altre eminenze, un solo e continuato parrà il campo lucido: ed io mi sono incontrato a veder da una montagna altissima e lontana dal mar di Livorno sessanta miglia, in tempo sereno ma ventoso, un'ora in circa avanti il tramontar del Sole, una striscia lucidissima diffusa a destra ed a sinistra del Sole, la quale in lunghezza occupava molte decine e forse anco qualche centinaio di miglia, la quale però era una medesima riflessione, come l'altre, della luce del Sole. Ora s'immagini il Sarsi che della superficie del mare, ritenendo il medesimo increspamento, se ne fusse rimosso verso gli estremi gran parte, e lasciatone solamente verso il mezo, cioè incontro al Sole, una lunghezza di due o tre miglia: questa sicuramente si sarebbe veduta tutta illuminata, ed anco non mobile ad ogni mutazion che il riguardante avesse fatto a questa o a quella mano, se non dopo essersi mosso forse per qualche miglio, ché allora comincerebbe a perdersi la parte sinistra del simulacro, s'egli caminasse alla destra, e l'immagine splendida si verrebbe restringendo, sin che, fatta sottilissima, del tutto svanirebbe. Ma non perciò resta che il simulacro non sia mobile al moto del riguardante, anzi, pur vedendolo tutto, tutto lo vederemmo ancor muovere, attalché il suo mezo risponderrebbe sempre alla drittura del Sole, il quale ad altri ed altrche nel medesimo momento lo rimirano, risponde ad altri e ad altri punti dell'orizzonte.”

(pag. 79) Riflessione e diffusione della luce: “la marina e i pescatori” dal saggiaiore

“...All'interrogazione, ch'egli mi fa, per qual cagione la Luna non è liscia e tersa, io gli rispondo che la Luna e gli altri pianeti tutti, che, essendo per se stessi tenebrosi, risplendono solamente per l'illuminazione del Sole, fu necessario che fussero di superficie scabrosa, perché, quando fussero di superficie liscia e tersa come uno specchio, niuna riflessione di lume arriverebbe a noi, essi ci resterebbono del tutto invisibili, ed in conseguenza del tutto nulle resterebbono l'azioni loro verso la Terra e scambievolmente tra di loro, ed in somma, essendo ciascheduno anco per se stesso come nulla, per gli altri sarebbon del tutto come se non fussero al mondo.”

pag 48-49-79 deduzione : la luna non è liscia e speculare come una sfera di cristallo, ma accidentata come la terra con monti, valli e crateri.

Rifrazione

Passando attraverso i materiali la luce subisce degli eventi di scattering e, in moltissimi casi di interesse, si comporta come se si propagasse con una velocità inferiore a c , di un fattore chiamato indice di rifrazione del materiale. La velocità della luce nell'aria è solo leggermente inferiore a c . Materiali più densi, come l'acqua e il vetro rallentano la luce a frazioni pari a $3/4$ e $2/3$ di c

3° PERCORSO

- riflessione speculare: angolo di incidenza = angolo di riflessione
- specchi piani e curvi (superficie del mare liscio)
- diffusione della luce in tutte le direzioni (muro bianco, mare increspato).
- •rifrazione: un raggio di luce “si piega” passando attraverso un materiale trasparente: cubo e cilindro di perspex; fibre ottiche; riflessione totale con il tondo di perspex e il laser
- difrazione dei colori sui CD
- Birifrangenza dello scotch “stressato” tra i polaroid.

4] PERCORSO - Osservazioni celesti

dal Nuncius Sidereus di Galileo

.. “giunse notizia che era stato costruito da un certo Fiammingo un occhiale, per mezzo del quale gli oggetti visibili, pur distanti assai dall'occhio di chi guarda, si vedevan distintamente come fossero vicini..e questo fu causa che io mi volgessi tutto a cercar le ragioni e ad escogitare i mezzi per giungere all'invenzione di un simile strumento, ...che poco dopo conseguì, basandomi sulla dottrina delle rifrazioni...E finalmente, non risparmiando fatiche e spese, venni a tanto da costruirmi uno strumento così eccellente, che gli oggetti visti per il suo mezzo appaiono ingranditi quasi mille volte e trenta volte più vicini che visti a occhio nudo. Ma quel che di gran lunga supera ogni meraviglia, e principalmente ci spinse a renderne avvertiti tutti gli astronomi e filosofi, è l'aver scoperto quattro astri [le quattro lune di Giove, chiamate da Galileo “astri medicei”: Io, Europa, Ganimede e Callisto] erranti, da nessuno, prima di noi, conosciuti nè osservati, che, a somiglianza di Venere e Mercurio intorno al Sole, hanno le loro rivoluzioni attorno a un certo astro cospicuo tra i conosciuti, ed ora lo precedono ora lo seguono, non mai allontanandosene oltre determinati limiti. E tutte queste cose furono scoperte e osservate pochi giorni or sono con l'aiuto d'un occhiale che io inventai dopo aver ricevuto l'illuminazione della grazia divina.”

4° PERCORSO

- IL CANOCCHIALE “perspicillum” Il volto moderno della Luna apparve per la prima volta la sera del 30 novembre 1609, quando Galileo Galilei, che si trovava a Padova, puntò il suo cannocchiale verso la Luna, notò le irregolarità che la caratterizzavano e realizzò uno schizzo per registrare le sue scoperte. Le quattro lune di Giove, chiamate da Galileo “astri medicei”: Io, Europa, Ganimede e Callisto
- Il telescopio SPAZIALE HUBBLE
- VIRGO L'ACCHIAPPA ONDE GRAVITAZIONALI
- GLAST VEDE I RAGGI GAMMA

Quando nel 1609 Galileo apprese dall'amico Paolo Sarpi che un ottico fiammingo aveva costruito uno strumento che consentiva di vedere ravvicinati gli oggetti osservati, egli cominciò a lavorare assiduamente alla sua realizzazione finché «... finalmente non risparmiando fatiche e spese, venni a tanto da costruirmi uno strumento così eccellente, che gli oggetti visti per il suo mezzo appaiono ingranditi di quasi mille volte e trenta volte più vicini che visti a occhio nudo.» (Sidereus Nuncius, Padova 1610). Con esso Galileo scoprì i 4 satelliti maggiori del pianeta Giove, le fasi di Venere, le macchie solari e quindi la rotazione del Sole dando l'ultimo, grande, scossone al sistema tolemaico. Da allora i fisici e gli astronomi hanno costruito nuovi e sempre più potenti telescopi e con essi sono state rese possibili straordinarie scoperte astronomiche che hanno rivoluzionato più volte la nostra concezione dell'Universo. Ma è solo grazie alla possibilità di accedere allo Spazio attraverso l'utilizzo di veri osservatori orbitanti che in questi ultimi decenni è stato possibile sondare il Cosmo nella componente gamma dello spettro elettromagnetico (a cui l'atmosfera terrestre è opaca) e studiare la radiazione cosmica che arriva in prossimità del nostro pianeta dopo essere stata emessa da lontane galassie o sperdute nebulose, migliaia o milioni di anni fa. Questa radiazione porta informazioni cruciali sia sui meccanismi energetici che l'hanno prodotta sia sui sistemi con i quali

ha interagito nel suo lungo viaggio per giungere fino a noi. In effetti oggi sappiamo che l'Universo è sede di numerosi fenomeni di straordinaria bellezza, alcuni dei quali possono originare quantità inimmaginabili di energia. Cosa produce tutta questa energia e cosa accade nelle regioni che circondano la zona di emissione sono solo alcune delle domande a cui cercherà di rispondere l'osservatorio spaziale per raggi gamma GLAST, una grande missione internazionale supportata dalla NASA, dal Dipartimento dell'Energia (DOE) degli Stati Uniti e da agenzie governative in Italia (ASI e INFN), Francia, Germania, Svezia e Giappone. GLAST fa parte del programma della NASA sullo studio della Struttura ed Evoluzione dell'Universo.

NOTA

- GLAST

L'universo è stato osservato nel passato ad occhio nudo, poi, dopo Galileo, con l'ausilio di cannocchiali sempre più potenti. Queste osservazioni sono state integrate, nel secolo passato, con le informazioni provenienti dalla rivelazione delle onde elettromagnetiche emesse dai lontani corpi celesti, per ottenerne così una prima descrizione spettacolare del nostro universo. Oggi abbiamo nuove tecnologie, come quelle operative anche sul satellite FERMI/GLAST, che si aggiungono a quelle antiche e che ci permettono di vedere l'emissione da parte dei corpi celesti dei così detti raggi gamma, particelle elettromagnete di altissima energia (un miliardo di miliardi di joule, una energia spaventosa per una sola particella di massa nulla!) Queste particelle che provengono dal profondo universo stanno già evidenziando fenomeni incredibili e catastrofici come la formazione di "buchi neri", anche se, fortunatamente, a distanze di più di 12 miliardi di anni luce da noi.

- INTERFEROMETRO

Tre esempi.

1) Le osservazioni interferometriche, proprio per il grande potere risolutivo del metodo, vengono utilizzate, in campo astronomico, per la misura di distanze nei sistemi stellari binari, o per la ricerca e lo studio dei pianeti extrasolari.

2) In geofisica. Le misure ad alta sensibilità delle deformazioni della crosta terrestre sono fondamentali per lo studio di vari fenomeni geofisici per evidenziare le maree terrestri, gli scorrimenti asismici, le dislocazioni sismiche....In generale, un interferometro in configurazione di Michelson (come quelli del Gran Sasso) misura la differenza in allungamento di due lunghi segmenti presi come riferimento.

Nell'industria. Gli interferometri permettono l'acquisizione di misure di superfici piane o sferiche che devono essere trattate e verificate con altissima precisione. Per esempio è possibile misurare componenti ottici in vetro o in plastica come finestre, lenti e prismi, componenti metalliche di precisione come dischi per computer, superfici di appoggio e di tenuta, ceramiche lucidate e perfino stampi per lenti a contatto.

5] PERCORSO - I suoni e gli strumenti musicali

“Nacque già in un luogo assai solitario un uomo dotato da natura d'uno ingegno perspicacissimo e d'una curiosità straordinaria; e per suo trastullo allevandosi diversi uccelli, gustava molto del lor canto... osservando con che bell'artificio, colla stess'aria con la quale respiravano, ad arbitrio loro formavano canti diversi, e tutti soavissimi ...venuto nella strada, trovò un pastorello, che soffiando in certo legno forato e movendo le dita sopra il legno, ora serrando ed ora aprendo certi fori che vi erano, ne traeva quelle diverse voci, simili a quelle d'un uccello, ma con maniera diversissima ...e trovò un fanciullo che andava con un archetto, ch'ei teneva nella man destra, segando alcuni nervi tesi sopra certo legno concavo, e con la sinistra sosteneva lo strumento e vi andava sopra movendo le dita, e senz'altro fiato ne traeva voci diverse e molto soavi. ... entrando in certo tempio si mise a guardar dietro alla porta per veder chi aveva sonato, e s'accorse che il suono era uscito dagli arpioni e dalle bandelle nell'aprir la porta. ...entrò in un'osteria, e credendo d'aver a veder uno che coll'archetto toccasse leggermente le corde d'un violino, vide uno che fregando il polpastrello d'un dito sopra l'orlo d'un bicchiere, ne cavava soavissimo suono. ... poi gli venne osservato che le vespe, le zanzare e i mosconi, non, come i suoi primi uccelli, col respirare formavano voci interrotte, ma col velocissimo batter dell'ali rendevano un suono perpetuo... che i grilli, già che non volavano, potessero, non col fiato, ma collo scuoter l'ali, cacciar sibili così dolci e sonori ... che vi fussero altre maniere di formar voci: organi, trombe, pifferi, strumenti da corde, di tante e tante sorte, e sino a quella linguetta di ferro che, sospesa fra i denti, si serve con modo strano della cavità della bocca per corpo della risonanza e del fiato per veicolo del suono ... trovossi più che mai rinvolto nell'ignoranza e nello stupore nel capitargli in mano una cicala, e che né per serrarle la bocca né per fermarle l'ali poteva né pur diminuire il suo altissimo stridore, né le vedeva muovere squamme né altra parte, e che finalmente, vedendovi alcune cartilagini dure ma sottili si ridusse a romperle per farla chetare, e che tutto fu in vano... sin che, spingendo l'ago più a dentro, non le tolse, trafiggendola, colla voce la vita. Si ridusse a tanta diffidenza del suo sapere, che domandato come si generavano i suoni, generosamente rispondeva di sapere alcuni modi, ma che teneva per fermo potervene essere cento altri incogniti e inopinabili.”

da Il Saggiatore pag 46.pdf

5° PERCORSO - CENTO MODI DI FAR VOCI E SUONI

- Oggi conosciamo cento altri modi per produrre suoni diversi;
- Alla Lus potrete scolpire il suono con le vostre mani ..senza toccare nessuno strumento.
- Con il legno dell'abete rosso della val di fiemme si fanno delle 'tavole' che suonano

6] PERCORSO - Il galleggiamento dei gravi in un fluido

SALVIATI: “...con una simil palla, aggiustata sì che resti ambigua, per così dire, tra lo scendere e l' salire in un'acqua, per minima che sia la differenza di peso tra due acque, se, in una, tal palla scenderà, nell'altra, che sia più grave, salirà ed è talmente esatta cotale esperienza, che la giunta di due grani di sale solamente, che si mettino in sei libbre d'acqua, farà risalire dal fondo alla superficie quella palla che vi era pur allora scesa ... ma il riscaldarla o raffreddarla un poco produce il medesimo effetto, e con sì sottile operazione, che l'infonder quattro gocciole d'altra acqua un poco più calda o un poco più fredda delle sei libbre, farà che la palla vi scenda o vi sormonti: vi scenderà infondendovi la calda, e monterà per l'infusione della fredda.”

Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e i movimenti locali pag 50

6° PERCORSO. TEMPERATURA E CALORE:

- La mano e il calore
- Il termometro di Galileo
- Il papero bevitore
- Soffia che s'accende!!

MECCANICA

BIGLIE DI NEWTON

(Urti “elastici”: conservazione della quantità di moto e dell’energia)

-) **Obiettivi:**

Scopo dell’esperienza è far riflettere i visitatori su uno dei principi fisici più comuni, la conservazione della quantità di moto e dell’energia di un sistema e la terza legge di Newton.

-) **Apparato sperimentale:**

L’oggetto è commerciale ed è formato da 5 biglie di ferro legate con sottili fili da pesca ad un supporto rigido, in modo da essere poste una accanto all’altra.

-) **Conduzione dell’esperienza:**

- **AVVERTENZE** Attenzione a non “intrigare” i fili!!!
- **suggerimenti per l’animazione** Se si alza una biglia e la si rilascia, quella urta con la biglia adiacente e così via finché si muove l’ultima. Se se ne alzano 2 si muoveranno le ultime 2, se 3 le ultime 3 e così via...
- **note** Esiste una versione alternativa in cui le biglie sono fatte scorrere lungo una guida di plastica

-) **Descrizione del processo fisico:**

Si tratta di un’applicazione dei teoremi di conservazione della quantità di moto e dell’energia totale. Le masse delle biglie sono uguali, gli urti centrati ed elastici, quindi se una delle 2 masse uguali è ferma e l’altra si muove con una certa velocità, dopo l’urto la prima inizia a muoversi con la stessa velocità, mentre la seconda si ferma. Matematicamente si possono scrivere le equazioni di conservazione in assenza di dissipazione. In questo caso le biglie sono 5 e tutte a contatto tra loro a riposo, quindi dopo che la prima biglia viene alzata urta con la sua vicina, che a sua volta non fa in tempo a partire che ha già urtato quella subito accanto e così via. In questo modo l’energia e la quantità di moto passano dalla prima biglia all’ultima, che è l’unica in grado di muoversi. Se si ripete l’esperimento muovendo inizialmente 2 biglie, si raddoppia la massa, per cui la quantità di moto e l’energia iniziale raddoppiano e alla fine si muoverà l’ultima coppia e così via...

-) **Riferimenti all’esperienza quotidiana / Analogie:**

Esperimenti analoghi si possono osservare nel gioco del biliardo, nel rinculo del cannone o di un fucile dopo lo sparo.

CHI SI FERMA PRIMA?

(Attrito, dissipazione dell'energia)

-) Obiettivi:

Lo scopo dell'esperienza è far riflettere i visitatori sul principio di conservazione dell'energia.

-) Apparato sperimentale:

L'apparato è formato da 2 guide di legno a forma di semicerchio poste una accanto all'altra e da due rocchetti che contengono biglie; in uno dei due si possono muovere, nell'altro sono ferme.

-) Conduzione dell'esperienza:

- **AVVERTENZE** Attenzione ai rocchetti, sono piuttosto delicati e tendono ad aprirsi.
- **suggerimenti per l'animazione** Inizialmente mostrare i due rocchetti e chiedere ai visitatori quale dei due si fermerà per primo se si lasciano scorrere sulle guide partendo dalla stessa altezza. Dopo di che si lasciano andare contemporaneamente e si verifica che quello in cui le biglie sono "comprese" oscilla più a lungo.

-) Descrizione del processo fisico:

L'esperimento si basa sul principio di conservazione dell'energia: i rocchetti hanno la stessa massa e partono fermi dalla stessa altezza, quindi possiedono la stessa energia potenziale, mentre l'energia cinetica è nulla; quando si muovono lungo le guide, l'energia potenziale si trasforma in energia cinetica, in modo che "istante per istante" la somma dell'energia cinetica e di quella potenziale si conservi uguale al valore iniziale a meno di dissipazioni. Queste avvengono a causa dell'attrito presente sia con l'aria che con le guide, ma anche per gli urti tra le singole palline nel caso del rocchetto in cui queste sono libere di muoversi. Per questo motivo si ferma prima dell'altro. Bisogna tener presente anche il fatto che il rocchetto in cui le biglie sono compresse, possiede solo l'energia cinetica legata al moto del suo centro di massa. L'altro, invece, possiede un'energia cinetica dovuta anche al moto delle singole biglie, quindi non solo si ferma prima, ma si muove anche più lentamente, infatti dato che si deve conservare l'energia TOTALE, per quest'ultimo rocchetto rimane meno energia potenziale disponibile per il moto del suo centro di massa.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Per spiegare l'importanza dell'energia potenziale si può ricordare ai ragazzi che se sono in bicicletta in cima ad una collina riescono a scendere senza pedalare.

MAGIA DELLE FIBRE

(Distensione per idratazione delle fibre vegetali)

-) **Obiettivi:**

Evidenziare in maniera macroscopica l'effetto di distensione delle fibre vegetali sotto l'azione dell'acqua.

-) **Apparato sperimentale:**

Cinque stuzzicadenti o, più comunemente, cinque bastoncini di legno secchi (preferibilmente di diametro inferiore al mezzo centimetro e di lunghezza tra i 5 ed 10 cm). Una superficie piana su cui appoggiare i bastoncini spezzati e, successivamente, qualche goccia d'acqua.

-) **Condizione dell'esperienza:**

I cinque stuzzicadenti (o i cinque bastoncini di legno) devono essere spezzati a metà in modo da lasciare un fascetto di fibre integre (piegate ma non tranciate) nella parte più prossima alla piegatura: il bastoncino assumerà così la forma di una "V" rovesciata. Le cinque "V" verranno successivamente disposte a stella, con il vertice della "V" verso l'interno: ne risulterà una stella a dieci punte.

Una goccia d'acqua deve essere versata al centro della stella in modo che possa bagnare tutti i bastoncini: le fibre di legno assorbendo acqua cominceranno a distendersi e gli estremi del bastoncino cominceranno a muoversi, allontanandosi l'uno dall'altro e facendo aprire le "V". Presto gli estremi delle "V" si toccheranno, spingendosi reciprocamente e allargando la stella fino a farla diventare una vera e propria "stella di Natale" a cinque punte.

- **AVVERTENZE** : Nessuna
- **suggerimenti per l'animazione** : Utilizzando acqua colorata si può evidenziarne l'assorbimento da parte del legno secco.

-) **Descrizione del processo fisico:**

Il legno è un materiale naturale formato dall'insieme di miliardi di cellule morte, di cui è rimasta soltanto la parete cellulare (N.B.: *non* la membrana cellulare) non vivente, composta in larga parte da lunghe catene di polisaccaridi, cui si dà il nome di cellulosa. Allo stato vivente le lacune tra queste molecole contengono una certa frazione di acqua, le cui caratteristiche di dipolo conferiscono alle fibre vegetali l'elasticità che tutti conosciamo. Nel legno secco, comunemente usato, l'acqua è assente ed esso assume quindi caratteristiche di rigidità e durezza; tuttavia il legno,

inteso come struttura chimica, mantiene un' estrema affinità per l' acqua: perciò nell' esperimento si può constatarne un notevole assorbimento, evidenziabile ad esempio usando acqua colorata. Le caratteristiche elettriche dell'acqua indeboliscono i doppi legami presenti nella cellulosa, aumentando così la distanza tra i nuclei atomici e determinando quindi l'allungamento complessivo della fibra di legno.

PARADOSSO MECCANICO

(Baricentro come punto di applicazione delle forze)

-) **Obiettivi:**

Illustrare l'importanza del baricentro come punto di applicazione delle forze, mostrando il comportamento "anomalo" di un oggetto che apparentemente "rotola spontaneamente in salita".

-) **Apparato sperimentale:**

Una doppia guida costituita da due asticelle di legno inclinate e convergenti (la parte più bassa è in corrispondenza del vertice), di cui si può regolare l'angolo di convergenza. Un cilindro di legno ed un doppio cono, sagomati con dimensioni tali che possano rotolare sulla doppia guida.

-) **Condizione dell'esperienza:**

Mentre il cilindro rotola normalmente seguendo il profilo in discesa delle guide, posizionando il doppio cono in corrispondenza del loro vertice (nel punto dove queste sono più vicine) e lasciandolo rotolare, apparentemente sembra che le risalga: le percorre infatti allontanandosi dal vertice.

- **AVVERTENZE** :
- **suggerimenti per l'animazione** : Baricentro e centro di massa sono solo paroloni per "i non addetti ai lavori", non dateli per scontato. Si può usare una squadretta e far misurare le altezze del baricentro dei due oggetti in cima e in fondo alle guide, per verificare sperimentalmente la spiegazione del fenomeno.

-) **Descrizione del processo fisico:**

Ogni corpo soggetto alla forza di gravità si muove spontaneamente da punti di energia potenziale maggiore a punti di energia potenziale minore, convertendo la differenza di energia potenziale in energia cinetica ed energia dissipata per vincere eventuali attriti: il moto corrispondente è volto a portare verso il basso il baricentro dell'oggetto. Questo è anche il caso del bizzarro comportamento

del doppio cono sulle guide, il cui reale comportamento è “mascherato” dalla pendenza della doppia guida. Osservando attentamente il moto del doppio cono, infatti, come si può fare guardando bene di fianco, con gli occhi all'altezza del tavolo, si può vedere come il baricentro del corpo effettivamente scenda durante il moto, anche se indubbiamente l'oggetto si muove seguendo il profilo “in salita” delle guide. Il baricentro del doppio cono (che si trova sull'asse di rotazione in corrispondenza del diametro massimo) scende grazie alla particolare combinazione dei valori degli angoli di inclinazione delle guide, di divergenza delle stesse e di quello al vertice del doppio cono. Ad ogni giro del corpo il suo asse di rotazione scende poiché la distanza tra l'asse di rotazione e ognuno dei due punti di contatto diminuisce a mano a mano che essi si avvicinano ai vertici del doppio cono: questo abbassamento compensa e supera l'incremento di quota del baricentro che deriva dalla salita del punto di appoggio del doppio cono nel movimento di “risalita” lungo le guide. Modificando l'inclinazione dell'angolo tra le due guide è possibile far muovere l'oggetto in una direzione o nell'altra, oppure far sì che si trovi in condizione di equilibrio indifferente. Per il cilindro invece, il cui baricentro si trova sempre alla stessa altezza (uguale al suo raggio) rispetto alle guide, il moto “di caduta” entro il campo gravitazionale è invariabilmente verso il vertice delle guide.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie: un gioco che si può far fare ai ragazzi per farli riflettere sul centro di massa consiste nel farli posizionare accanto ad una parete in modo che tocchino per tutta la lunghezza della coscia e del braccio, poi si chiede di alzare l'altro piede, senza staccarsi dal muro...

PENDOLI ACCOPPIATI

-) Obiettivi:

Attraverso questa esperienza si vuole mettere in evidenza come sia possibile un trasferimento di energia tra i due sistemi, infatti se si mette in movimento uno dei pendoli dopo un certo tempo questo si ferma e il pendolo che era rimasto precedentemente immobile si mette in movimento.

-) Apparato sperimentale:

In questa esperienza si usano due pendoli attaccati ad un sostegno rigido in rame. I pendoli sono costituiti da fili approssimativamente inestensibili di uguale misura e da due masse a simmetria cilindrica.

-) Descrizione del processo fisico:

Le equazioni che risolvono il moto di un pendolo in presenza dell'aria sono identiche a quelle di un oscillatore smorzato dove il termine responsabile dello smorzamento è l'interazione del sistema con l'esterno. Questa interazione provoca una dissipazione di energia ($\langle E \rangle = \langle E(0) \rangle e^{-t/\tau}$) nell'ambiente

circostante che mediata su un periodo è $\Delta E = \frac{2\pi}{\omega_0} \bar{E}$. Ricordiamo che τ è una quantità legata alla

forza dissipativa ed $\omega_0/2\pi$ è la frequenza propria di oscillazione. Nel nostro caso, l'energia viene trasmessa al secondo pendolo attraverso il supporto. Se i due pendoli hanno oscillazioni uguali, cioè la stessa lunghezza, il secondo pendolo comincia ad oscillare.

Nel caso in cui essi abbiano lunghezza diversa non è detto che questo fenomeno si realizzi, infatti gli effetti delle singole spinte si sommano (fase) o si annullano (controfase). Cambiando le condizioni del problema e cioè facendo muovere in maniera diversa i pendoli si possono ottenere diversi tipi di moto.

- **note** : Ai bambini possono essere mostrate i diversi moti dei pendoli usando le applets i cui link sono riportati in fondo alla pagina. (pendoli accoppiati, pendoli semplici).

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Questa trasmissione di energia è simile a quella che si ha in un'onda. Infatti un'onda può essere pensata come formata da una serie di moltissimi pendoli accoppiati.

-) Referenze:

- 1) www.toys.science.unitn.it/laboratorio/html/scheda9.html
- 2) www.ba.infim.ti/~zito/museo/frame65.html

IL PENDOLO CAOTICO DETERMINISTICO

-) Conduzione dell'esperienza:

Non oscilla su di un piano come ti aspetti. Descrive moti circolari, gira ora in senso orario e poi nel senso opposto, passando attraverso istanti in cui... eccolo oscilla di nuovo su di un piano...



-) Descrizione del processo fisico:

Il “trucco” sta la' in alto nel gancio dove si appende il filo che tiene il pendolino. Nota che proprio il gancio, invece di essere ben fisso, é libero di oscillare, ma in una sola direzione!.

In quella direzione il gancio ed il filo oscillano insieme come un'unica asta di lunghezza l pari al filo piú il gancio. Nella direzione ortogonale



invece il gancio resta fermo e la lunghezza del pendolo corrisponde solo a quella del filo.

La frequenza di oscillazione, come ci insegnano la fisica, e' determinata da $\frac{g}{l}$, cioè dall'inverso della radice quadrata della lunghezza dell'asta ! E allora, abbiamo una frequenza minore per le oscillazioni parallele alla direzione di oscillazione del gancio ed una frequenza leggermente piu' alta per l'oscillazioni in direzione ortogonale.

Il moto del nostro pendolo e' la sovrapposizione di due moti ortogonali di diversa frequenza.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Periodo T

Risultato finale: Un moto che descrive le figure di Lissajous in continua evoluzione.

QUESTO PENDOLO SONO DUE PENDOLI !

OSTINATO

(Rotatore rigido asimmetrico)

-) Obiettivi:

Mostrare la dinamica di rotazione di un rattleback (ostinato): il moto di un corpo rigido asimmetrico in rotazione, con un punto di appoggio su una superficie piana con attrito, può essere estremamente complesso; l'asimmetria induce una propensione a privilegiare un verso di rotazione piuttosto che un altro.

-) Apparato sperimentale:

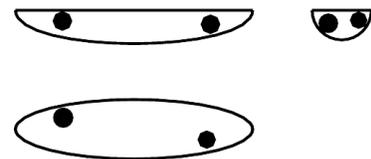
Un "ostinato", di quelli che vengono venduti come giocattoli, da appoggiare su una superficie piana orizzontale.

-) Conduzione dell'esperienza:

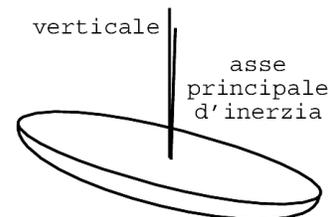
- **note :** Gli studiosi di storia della fisica affermano che William Thomson (lord Kelvin) ritardasse nello studio della matematica per giocare con questi oggetti; e pare che anche Niels Bohr ci abbia perso del tempo.

-) Descrizione del processo fisico:

Le equazioni del moto di un rotatore rigido simmetrico con punto d'appoggio su un piano sono già abbastanza complicate, ma quelle di un rotatore asimmetrico, che può anche scivolare con attrito sul piano, sono veramente difficili da risolvere esattamente. Sono più adatte ad un'analisi numerica, da affidare ad un moderno computer. L'asimmetria dell'oggetto produce infatti la propensione a ruotare in un verso. Se il corpo è di materiale omogeneo l'asimmetria sta nella forma. Nel nostro caso, invece, la forma è simmetrica, e l'asimmetria è ottenuta con l'aggiunta di masse pesanti che modificano il momento d'inerzia e l'asse principale d'inerzia non risulta verticale. Ogni corpo rigido, di qualunque forma, possiede tre assi principali di inerzia ortogonali fra loro. In assenza di forze esterne, se



Densità omogenea con punti pesanti aggiuntivi. Una delle possibili forme di "rattleback".



L'asse principale di inerzia non è esattamente verticale.

l'oggetto è posto in rotazione con velocità angolare parallela a uno degli assi principali, allora anche il momento angolare è parallelo all'asse, e la direzione dell'asse di rotazione risulta stabile. Una

velocità angolare obliqua, invece, dà un momento angolare disallineato e l'asse di rotazione è soggetto ad un movimento di precessione.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Questi oggetti vengono chiamati a volte pietre celtiche perché, a quanto pare, le loro proprietà sono state scoperte da un archeologo, mentre giocherellava con alcune lame di pietra di asce preistoriche, rinvenute nel corso di scavi. Possono avere forme leggermente diverse. Oggi vengono costruiti in serie e venduti come giocattoli; ma una descrizione matematica del loro movimento, esatta e completa, non è agevole.

-) Referenze:

Uno dei primi testi con descrizione e analisi di questi problemi è quello di G. T. Walker, del 1896. I rattleback vengono descritti in dettaglio in un articolo di Jearl Walker, Scientific American, ottobre 1979. Sono utili, inoltre, gli indirizzi WEB seguenti:

<http://www.autolev.com/WebSite/SampleProblemRattleback/Rattleback.html>

<http://demoroom.physics.ncsu.edu/html/demos/224.htm>

BAROMETRO DI GOETHE

(Principio dei vasi comunicanti)

-) Obiettivi:

Illustrare il funzionamento di un barometro.

-) Apparato sperimentale:

Il barometro è composto di un'ampolla (sferica o a forma di ovoidale) e di un tubo la cui estremità è a contatto con l'atmosfera. Il livello del liquido dentro il tubo misura la variazione di pressione atmosferica rispetto a quando il liquido è stato introdotto nell'ampolla la prima volta.

-) Condizione dell'esperienza:

Si fa un normale uso del barometro, osservando il livello del liquido al suo interno.

- **AVVERTENZE** : Il livello del liquido va ogni tanto rabboccato per compensare l'eventuale evaporazione. C'è il rischio che se "scaldato troppo" il liquido trabocchi!
- **suggerimenti per l'animazione** : *Che tempo farà?* - Il livello del liquido nella colonnina indica se la pressione atmosferica è alta (bel tempo) o bassa (brutto tempo) --- *Cosa succede all'aria dentro l'ampolla?* - La superficie del liquido dentro l'ampolla è molto più grande di quella del liquido nel tubo, così il livello del liquido nell'ampolla

rimane pressoché invariato. Il volume dell'aria dentro l'ampolla rimane quindi costante, e così la sua pressione. L'unico cambiamento sensibile è quello dell'aria all'esterno.

- **note :** Anche noto come *barometro ad acqua* fu inventato da un nobile olandese nel sedicesimo secolo ed era di uso comune dai contadini nelle campagne, per prevedere il tempo. Lo scrittore Johann Wolfgang von Goethe lo scoprì durante uno dei suoi viaggi e lo portò in Germania. Molto presto il nome del vero inventore venne dimenticato e il barometro rimase legato al nome del grande scrittore tedesco.

-) Descrizione del processo fisico:

Il barometro si basa su un principio molto simile a quello dei *vasi comunicanti*: se due vasi (con la superficie a contatto con l'atmosfera) sono in comunicazione, il livello del liquido è lo stesso in tutti e due.

Il liquido è stato inserito nell'ampolla quando la pressione atmosferica era normale (tempo variabile). Il livello del liquido nell'ampolla e nel tubo era lo stesso in quanto la pressione dell'aria intrappolata nell'ampolla e di quella esterna erano le stesse. Da quel momento in poi la pressione dell'aria dentro l'ampolla rimane praticamente la stessa perché è determinata dal volume a sua disposizione che è pressoché costante. L'aria che preme sulla superficie del liquido nel tubo cambia invece la sua pressione seguendo la pressione atmosferica.

Se la pressione atmosferica aumenta, il che indica che ci sarà bel tempo, il liquido nel tubo di vetro è spinto verso il basso. Quando il brutto tempo si avvicina la pressione esterna diminuisce e il liquido riesce a risalire lungo il tubo.

LA RUOTA

(Giroscopio e ruota di bicicletta)

-) Obiettivi:

Per cambiare lo stato di moto di un corpo è necessario esercitare una forza. La consapevolezza di questo fatto si è andata sempre più diffondendo, da Galileo in poi. E' invece assai meno intuitivo quel che succede quando si vuole cambiare la direzione dell'asse di rotazione di un corpo rotante. A tutti è chiaro che per invertire la rotazione di un disco occorre agire con delle forze (o meglio, con un momento). Lo stesso risultato può essere ottenuto prendendo l'asse di rotazione e facendolo girare di 180 gradi, ma l'equivalenza tra le due azioni non è immediatamente evidente.

-) Apparato sperimentale:

Un seggiolino girevole, una ruota di bicicletta solidale al suo asse; dei pesini.

-) Conduzione dell'esperienza:

Nell'esperienza con la ruota di bicicletta lo sperimentatore, seduto su una seggiola girevole, impugna con le due mani l'asse della ruota. Il sistema composto dallo sperimentatore, dalla ruota e dalla parte girevole del sedile è soggetto solo a forze con momento nullo rispetto al perno del sedile. Di conseguenza la componente verticale del momento angolare dell'intero sistema si conserva nel tempo, o almeno finché l'azione dell'attrito sul perno rimane trascurabile. Quando lo sperimentatore muovendo le mani cambia la direzione dell'asse della ruota, e la componente verticale del suo momento angolare, è soggetto ad un trasferimento di momento angolare, visto che il totale si deve conservare.

All'inizio lo sperimentatore può tenere una mano sopra l'altra e l'asse della ruota in verticale. Dopo che essa è stata posta in rotazione, e facendo attenzione a che i piedi non tocchino terra, le si fa compiere una rotazione di 180 gradi. Il momento angolare della ruota viene così invertito. Lo sperimentatore avverte sulle mani delle forze diverse da quelle che sentirebbe a ruota ferma e si mette a girare nello stesso verso che aveva la ruota all'inizio. Nello spiegare il motivo di tutto ciò, può essere utile rammentare che l'inversione della rotazione poteva essere ottenuta anche in altro modo. In questo caso è molto più facile capire come il momento angolare si trasferisce dalla ruota a chi la manovra.

Un'altra possibilità è di iniziare con l'asse della ruota in orizzontale. Inclinandolo poi a destra o a sinistra, si ottiene la rotazione dello sperimentatore. Il momento angolare trasferito è minore che nel caso precedente (la metà per una inclinazione di 90 gradi).

In ogni caso sono proprio le forze che lo sperimentatore sente con le mani a cambiare il momento angolare sia della ruota che dello sperimentatore stesso.

-) Descrizione del processo fisico:

Nell'esperimento della ruota di bicicletta manovrata sul seggiolino girevole, se l'inversione della rotazione fosse ottenuta prima fermando la ruota e poi spingendola nell'altro verso, risulterebbe abbastanza intuitivo che lo sperimentatore riceve a sua volta un effetto di rotazione. Questo è invece sorprendente se l'inversione della rotazione viene ottenuta agendo sull'asse della ruota. Gli esperimenti con la ruota di bicicletta e con il giroscopio permettono di esplorare questo problema e di capire che un oggetto rigido in moto rotatorio con una certa velocità angolare tende a mantenerla, anche per quanto riguarda la direzione dell'asse di rotazione. Per cambiare questa direzione occorre agire con delle forze. (In generale, la direzione che tende a conservarsi è quella del momento

angolare, che coincide con quella dell'asse di rotazione solo se esso è parallelo ad uno dei tre assi principali di inerzia, come nel giroscopio o nella ruota di bicicletta. Ma inoltrarsi in questa distinzione rischierebbe di complicare inutilmente le idee.)

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Un'esperienza simile può essere fatta con il giroscopio, tenendolo in mano e provando a deviare il suo asse. Si confronta la differenza fra ciò che si sente quando il disco è fermo e quando è invece stato posto in rapida rotazione con la cordicella. Nel secondo caso lo sperimentatore percepisce una resistenza inattesa. La spiegazione è che nel primo caso (disco fermo), operiamo solo uno spostamento dell'oggetto, nel secondo caso alteriamo il suo stato dinamico. Questa differenza non è intuitiva e può destare qualche sorpresa.

Un secondo esperimento va fatto mettendo in rotazione il giroscopio, per appoggiarlo poi, un po' inclinato, sul supporto. Se fosse fermo cadrebbe a causa del peso. Quando è in rotazione l'effetto del peso (e della reazione verso l'alto del supporto) è invece di spostare l'asse di rotazione, facendolo girare.

I giroscopi montati dentro una sospensione cardanica (che non esercita momenti sulla massa rotante) sono la base dei sensori di posizione negli aerei e nei sommergibili. Vengono normalmente impiegati anche per sostituire la bussola, nella navigazione inerziale sottomarina e interplanetaria.

La trattazione del funzionamento dei giroscopi è disponibile su qualunque testo universitario di meccanica (Fisica I), e su alcuni libri di testo per i licei.

-) Referenze:

Una ricerca via internet con un motore tipo {Google} frutta molti indirizzi WEB, mantenuti da enti educativi, con spiegazioni semplici e animazioni.

DISCO VOLANTE

(Equazione di bernoulli)

-) Conduzione dell'esperienza:

Premi l'interruttore blu ed attiva il getto d'aria, avvicina il disco al getto d'aria e osserva come il disco, contrariamente a quanto ci si aspetterebbe, invece di venire respinto resta sospeso in aria .

-) Descrizione del processo fisico:

Premendo l'interruttore attivi un getto d'aria che passa attraverso il foro nel piano in plexiglas ed esce orizzontalmente passando nello spazio compreso tra il piano e il disco.

La pressione dell'aria, in moto sopra il disco di polistirolo, è minore di quella dell'aria ferma al di sotto di esso. Il disco di polistirolo rimane sospeso perché il suo peso viene compensato dalla diversità delle forze che la pressione esercita sulle sue due facce. E' da notare che la forza dovuta al flusso d'aria che colpisce direttamente il disco di polistirolo e il cui effetto sarebbe quello di allontanare il disco è piccola rispetto alle altre forze in gioco perché il diametro del foro è molto minore di quello del disco.

ELETTROMAGNETISMO

MOTORE ELETTRICO

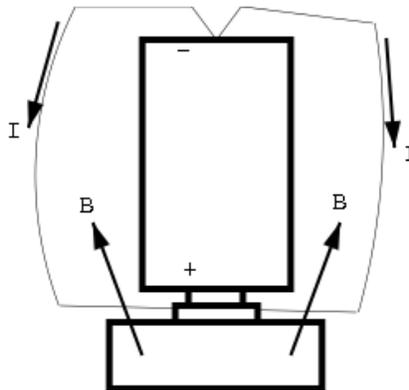
(Forza di Lorentz)

-) Obiettivi:

Illustrare un esempio di applicazione della forza di Lorentz realizzando un semplicissimo motore elettrico a corrente continua.

-) Apparato sperimentale:

Occorre collocare una batteria tipo torcia con il contatto positivo (in modo che il bottoncino sporgente lasci uno spazio a forma di gola) sopra la faccia di un forte magnete a disco, del tipo di quelli utilizzati negli altoparlanti woofer. Un leggero filo metallico, chiuso a circuito e piegato fino ad assumere la forma illustrata nella figura, viene sistemato attorno alla batteria, libero di ruotare, e in modo che, poggiando sul contatto -, tocchi il contatto +.



-) Condizione dell'esperienza:

Una volta che il filo metallico è stato collocato sulla batteria in modo da chiudere il circuito, si vede che la spira comincia a ruotare. Il dispositivo funziona sempre e facilmente, con la rotazione chiaramente visibile.

- **AVVERTENZE** : Se la spira non si muove, è segno che la sagoma non è libera o la corrente non passa; se la batteria è carica basta verificare che la spira non si incastri durante il movimento, e che i contatti siano puliti (per lo scopo si può strofinarli con un po' di alcool).

-) Descrizione del processo fisico:

Quando la corrente passa nel verso indicato dalle frecce, la forza di Lorentz mette la spira in rotazione poiché ciascuno dei tratti orizzontali (che sono ortogonali alle linee di forza del campo

magnetico) sono soggetti ad una forza diretta secondo $I d\vec{l} \times \vec{B}$. Gli elementi di filo verticali, invece, essendo sostanzialmente paralleli alle linee di forza del campo magnetico, non sono soggetti ad alcuna forza. In riferimento alla figura sopra, il momento di forze risultante fa ruotare la spira in senso orario, se guardata dall'alto.

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

(INDUZIONE ELETTROMAGNETICA)

-) Obiettivi:

Questo esperimento mostra un'applicazione della forza di Lorentz, e fornisce un esempio di induzione di corrente da parte di un campo magnetico in movimento.

-) Apparato sperimentale:

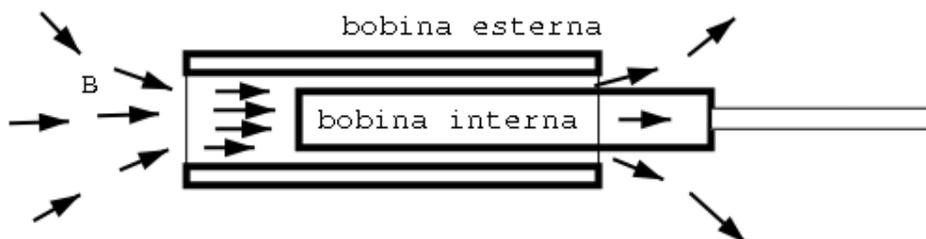
Una bobina di filo di rame, connessa ad una batteria, in cui circola una corrente continua, due bobine più piccole, collegate rispettivamente a due piccoli LED colorati (uno rosso ed uno verde, per la precisione) saldati in serie con le spire, possono essere mosse a mano ed infilate dentro la bobina principale.

-) Condizione dell'esperienza:

Estraendo o inserendo rapidamente nella bobina più grande, mentre vi circola corrente, il bastoncino a cui sono fissate le due bobine più piccole, si osserva l'accendersi di uno o dell'altro LED.

- **suggerimenti per l'animazione** : Si può inserire una vite di ferro all'ingresso della bobina principale, e far testare ai ragazzi come viene risucchiata seguendo il gradiente del campo, facendo la dovuta attenzione.

-) Descrizione del processo fisico:



Il disegno mostra la disposizione approssimativa dei vettori del campo magnetico. Se la bobina interna viene estratta velocemente, la variazione del flusso del campo attraverso le spire genera una corrente che accende uno dei due LED. I LED contengono un diodo, che è un elemento di circuiteria che offre una resistenza molto elevata o molto bassa a seconda del verso della corrente che lo attraversa. Se le due bobine vengono inserite, la variazione di flusso sono opposte rispetto al caso dell'estrazione, così come il verso delle correnti indotte: la collocazione dei LED nei circuiti è tale da far sì che uno dei due si accenda a seconda che la corrente circoli nelle spire in senso orario o antiorario. Se nell'estrazione si accende il LED rosso di una bobina, inserendole si accende quello verde dell'altra, e viceversa. Alternativamente: mentre la bobina piccola viene estratta (parallelamente all'asse delle bobine), gli elettroni in movimento sentono la componente ortogonale dei vettori del campo al di fuori dalla bobina più grande, e sono quindi soggetti ad una forza di Lorentz che li fa muovere di moto circolare.

CALAMITA A FERRO DI CAVALLO

(Linee di forza del campo magnetico, materiali ferromagnetici)

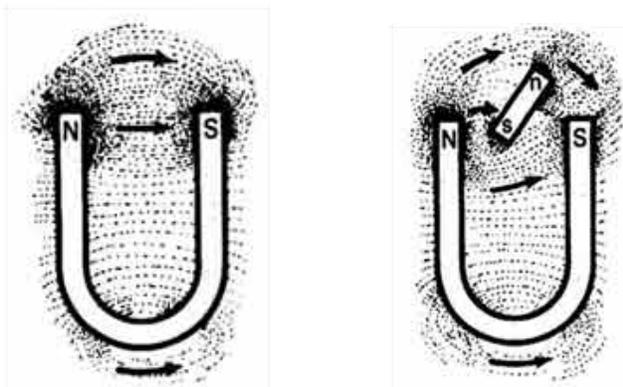
-) Obiettivi:

Illustrare le proprietà magnetiche di una calamita e la disposizione delle linee di forza del campo magnetico da essa generato.

-) Apparato sperimentale:

Un magnete a ferro di cavallo; alcuni oggetti ferromagnetici; possibilmente della limatura di ferro ed un contenitore chiuso di plastica trasparente in cui racchiuderla (o in mancanza un foglio di carta su cui appoggiarla).

-) Conduzione dell'esperienza:



Il magnete viene avvicinato al tavolo sopra al quale sono posti dei corpi di materiale ferromagnetico, ossia sensibile al campo magnetico e si osserva la loro risposta; per confronto, avvicinandola a materiali non ferromagnetici non accade nulla. Se si avvicina la calamita a della limatura di ferro (separata dal magnete dalle pareti del contenitore di plastica in cui è racchiusa o dal foglio di plastica su cui viene appoggiata), questa si dispone lungo le linee di forza del campo magnetico da essa generato.

- **suggerimenti per l'animazione** : Avvicinando alla calamita oggetti di metallo sufficientemente leggeri (ad es. delle normali graffette), si può fare in modo che questi si attraggano a vicenda costituendo un "trenino".

-) Descrizione del processo fisico:

Il magnete ha una forma particolare, detta a ferro di cavallo. Alle due estremità di tale forma ci sono i due poli (polo nord e polo sud) del magnete. Il campo magnetico in prossimità di tali estremità può essere considerato uniforme e diretto dal polo nord al polo sud. Infatti, il campo magnetico della calamita crea nei corpi ferromagnetici una magnetizzazione, orientando i momenti magnetici presenti in quei corpi nella stessa direzione del campo della calamita. Si ha così una forza attrattiva tra magnete e corpo metallico. La forza attrattiva viene a mancare se il magnete viene allontanato dal tavolo, poiché il campo magnetico decresce allontanandosi dai poli. I nuclei di molti atomi hanno un momento magnetico la cui interazione con il campo magnetico può essere usata anche in medicina (Risonanza Magnetica Nucleare) per studiare la distribuzione di un certo elemento all'interno di una zona da esaminare.

-) Referenze:

www.lsdm.dichi.unina.it/lezioni/chimfis-materiali.ppt

www.webservices.polito.it/matdid/fisica/cap5.pdf

www.soundlite.it/articoli/2000/nov00/fenom2.html

FILO IN MOVIMENTO

(La forza di Lorentz)

-) Obiettivi:

Visualizzare la forza di Lorentz

-) Apparato sperimentale:

Una normale lampada da illuminazione viene alimentata da una tensione continua di 50 volts e produce una luce debole, ma chiaramente visibile. La lampada si trova all'interno di una bobina (avvolgimento di filo conduttore).

-) Condizione dell'esperienza:

Alimentando con la stessa tensione di 50 volts sia la lampada che la bobina, quest'ultima è percorsa da una corrente (alquanto intensa, dell'ordine di 1 ampere) che produce un campo magnetico lungo il suo asse e quindi ortogonale al filamento della lampada. Mediante due opportuni "invertitori", si può invertire il verso della corrente nella lampadina ed il verso della corrente nella bobina (e quindi il verso del campo magnetico). Le due posizioni possibili per ciascun invertitore consentono quattro combinazioni: con due si ottiene un inarcamento del tratto di filo orizzontale verso l'alto (ben visibile, perché discorde con quello dovuto alla gravità) e con le altre due un inarcamento verso il basso (meno evidente, perché concorde con quello dovuto alla gravità).

Inserendo intorno alla lampadina un apposito quadrello di ferro, il campo magnetico nella zona del filamento viene notevolmente diminuito, e quanto osservato prima risulta appena percettibile.

- **AVVERTENZE** : Per evitare il surriscaldamento della bobina, la corrente è attiva soltanto tenendo premuto l'apposito pulsante

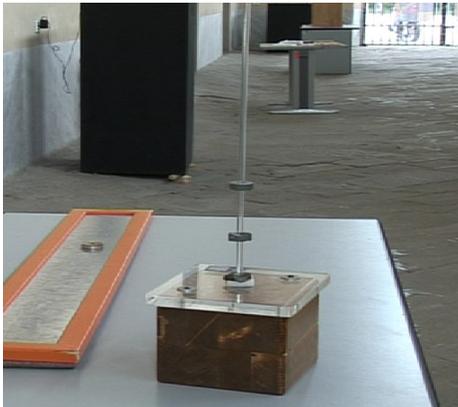
-) Descrizione del processo fisico:

Il filamento percorso da corrente ed immerso in campo magnetico è sottoposto ad una forza che ne provoca l'inarcamento. La teoria del magnetismo prevede una tale forza, detta forza di Lorentz, proporzionale alle intensità della corrente e del campo magnetico ed ortogonale alle loro direzioni.

DISCHI VOLANTI

-) Apparato sperimentale:

Il gioco è composto da 3 magneti cilindrici piatti con un foro al centro; tali magneti vengono infilati su un'asta di materiale plastico con le polarità tali che si respingono con una forza che cresce al diminuire della distanza.



L'effetto è che rimangono sospesi in aria.

-) Descrizione del processo fisico:

La separazione tra i dischetti è determinata dalla loro forza peso che viene annullata, alla distanza in cui i cilindretti stanno in equilibrio, da una forza magnetica di pari in intensità e di segno opposto.

E' interessante osservare come la separazione tra i due dischetti più alti sia leggermente superiore alla separazione tra il centrale e il dischetto in basso. Questo fenomeno è semplicemente legato al fatto che tra i due dischetti più in basso l'equilibrio tra la forza peso e quella magnetica si trova ad una distanza minore, poiché il dischetto di mezzo oltre al suo peso deve reggere il dischetto sovrastante, anche se solo magneticamente! . L'effetto potrebbe vedersi meglio aggiungendo un quarto dischetto alla catena dei dischi volanti.

D'altra parte se si fa pressione sul dischetto in alto con un dito, le distanze si accorciano fino a trovare, sotto la nostra pressione, un nuovo punto di equilibrio del sistema. Insistendo con la pressione scopriamo anche quanto sia difficile, se non impossibile, portare due dischi in contatto!

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Questo tipo di interazione è un esempio tipico di forza a distanza come del resto sono tutte le forze fondamentali: la forza gravitazionale tra due masse o due pianeti, la forza elettrica tra due cariche etc.,

In pratica per applicare una forza su di un oggetto si appoggia un dito o tutta la mano sull'oggetto e si preme! Da lì nasce l'idea della "forza di contatto", eppure anche quella, è mediata dalle forze elettriche di repulsione che nascono tra gli atomi delle due superfici di contatto!

LA LOCOMOTIVA PRUDENTE

Nel primo tratto, su un percorso rettilineo in legno, la locomotiva procede liberamente, aumentando apprezzabilmente la sua velocità, con un'accelerazione dell'ordine di $g \sin(\alpha)$ [g , accelerazione di gravità; α , angolo d'inclinazione del tratto]. Nel secondo tratto, su un percorso rettilineo con maggiore pendenza, ci si aspetterebbe un ulteriore aumento della velocità; anzi, per la maggiore pendenza del tratto, un ritmo di crescita (o accelerazione) ancora più marcato.

Questo non avviene !

Le ruote della locomotiva sono dei magneti, che, se sono fermi, non hanno interazioni con l'alluminio (ben diversamente se la guida fosse di ferro); ma se sono in movimento, creando nell'alluminio un campo magnetico che varia nel tempo, per le leggi dell'elettromagnetismo, inducono correnti elettriche nell'alluminio, e con queste c'è interazione.

È dunque il moto relativo dei magneti, rispetto al sostegno di alluminio, che comporta una forza sulle ruote e quindi sulla locomotiva; tale forza risulta proporzionale alla sua velocità ed opposta al movimento. Più veloce è la caduta, più forte è questo effetto frenante. Ci si aspetta allora un bilanciamento, almeno parziale, tra le due forze. In effetti, per i valori in gioco, il bilanciamento è pressoché totale, e quindi, non essendoci una forza risultante, la locomotiva procede di moto uniforme.

Uniforme, ma con quale velocità ?

Ancora una volta, bisogna impostare (secondo la fisica) le leggi del moto e risolverle (secondo la matematica). Si può comunque prevedere che la velocità "critica", all'equilibrio tra componente effettiva della gravità e forza frenante, è indipendente dalla velocità iniziale della locomotiva, cioè quando comincia il percorso in alluminio; in particolare, tale velocità critica può risultare minore di quella iniziale: così chiamiamo PRUDENTE la nostra locomotiva !!

(Questa situazione, della riduzione della velocità, a prima vista bizzarra, è spiegabile, con il fatto, che se la locomotiva inizia ad alta velocità, allora la forza frenante, che è ad essa proporzionale, è anch'essa alta, quindi eventualmente superiore a quella dovuta alla gravità, ed il moto è in frenata fin dall'inizio del tratto considerato).

La soluzione analitica dell'equazione del moto comporta che la velocità critica, con la quale la "nostra" locomotiva procede di moto uniforme, è dell'ordine di 10- 20 cm/sec e si raggiunge dopo un percorso sulla pista di alluminio di 1 cm o meno.

OTTICA

LUCE DAI CD

(La diffrazione della luce)

-) **Obiettivi:**

Soffermarsi su un'esperienza comune per parlare della diffrazione.

-) **Apparato sperimentale:**

Dei comuni CD sono appesi e mostrano i colori dell'arcobaleno.

-) **Condizione dell'esperienza:** Soffermare l'attenzione del visitatore sui diversi colori che assumono i CD al variare della loro inclinazione rispetto alla luce del sole.

-) **Descrizione del processo fisico:**

La diffrazione è un fenomeno dovuto alla natura ondulatoria della luce ed i cui effetti diventano importanti quando la luce incontra ostacoli della dimensione della propria lunghezza d'onda. Allora nel punto in cui si osservano i fenomeni arrivano raggi riflessi che hanno fatto percorsi diversi, quindi interferiscono.

I CD su cui facciamo riflettere la luce sono incisi con numerosissimi solchi la cui larghezza è di 1600nm, confrontabile quindi con la lunghezza d'onda della luce che, nel visibile, varia da 380 a 760nm. I CD formano pertanto un reticolo di diffrazione. Se mandiamo perpendicolarmente al CD un fascetto di luce monocromatica (cioè di una certa lunghezza d'onda) la luce riflessa forma su uno schermo macchie luminose dello stesso colore e simmetriche rispetto ad una centrale di intensità maggiore. Fissata la posizione dello schermo, la distanza delle macchie laterali da quella centrale dipende dalla lunghezza d'onda della luce usata (oltre che dalle dimensioni del solco). Se si usa un fascetto di luce bianca le macchie intorno al massimo centrale (bianco) si presentano colorate evidenziando così la presenza di componenti di lunghezza d'onda diversa.

I Cd che sono sospesi alla struttura in mostra sono illuminati da normali lampade (luce bianca) e riflettono pertanto in direzioni leggermente diverse le singole componenti della luce bianca, producendo nell'osservatore la percezione di una varietà di colori.

La memorizzazione in forma digitale dei dati nel CD viene fatta sfruttando la proprietà della riflessione della luce che cambia da una zona liscia (a cui viene associato per esempio lo 0 del codice binario) ad un avvallamento (che corrisponde ad un 1). Sia la scrittura dei CD che la lettura vengono realizzate tramite l'uso di fasci laser.

La lunghezza totale della traccia incisa in un CD può essere 5,8Km, circa 100 volte di più della torre di Pisa ed un CD può contenere qualcosa tipo 100 milioni di parole.

STRESSOMETRO DI CHELLA

(Birifrangenza dei materiali)

-) **Obiettivi:**

Mostrare che alcuni materiali sono birifrangenti naturalmente, mentre altri lo diventano a seguito di stress meccanici oppure per fenomeni elettrici e/o magnetici.

Evidenziare quindi come delle deformazioni meccaniche apparentemente invisibili ad occhio nudo siano facilmente riconoscibili sfruttando la polarizzazione della luce diffusa dai materiali.

-) **Apparato sperimentale:**

Questo dispositivo è costituito da due fogli di polaroid montati in modo incrociato. Si usi una lampadina dove la luce naturale dell'ambiente non fosse sufficiente.

-) **Conduzione dell'esperienza:**

Si frappongono degli oggetti (meglio se trasparenti ed incolori) tra i due fogli polaroidi, illuminandoli con la luce della lampadina se quella naturale non dovesse bastare: un materiale birifrangente, visto attraverso i polaroidi, appare iridescente. Ad esempio si può provare a mettere la pellicola trasparente nello stressometro, prima tenendola ben stesa ma senza tenderla troppo, e poi facendola incresparsi. Nel primo caso, anche accendendo la luce, non si vedranno colori (il materiale non manifesta proprietà di birifrangenza); nel secondo, soprattutto in corrispondenza delle pieghe della pellicola, si distingueranno i colori dell'arcobaleno (la pellicola diventa birifrangente in seguito alle deformazioni meccaniche).

Analogamente, un bicchiere di plastica trasparente od un qualsiasi oggetto di plastica con una superficie curva, visto attraverso lo stressometro mostrerà degli "aloni" coi colori dell'arcobaleno nei punti di maggior curvatura.

Si possono ripetere le osservazioni con diversi oggetti disponibili e di diversi materiali (vetro, plastica, ecc..).

- **AVVERTENZE** : Attenzione a non ustionarsi toccando il bulbo della lampadina accesa o spenta da poco.
- **suggerimenti per l'animazione** : Per meglio apprezzare i colori associati alla birifrangenza si suggerisce di condurre l'esperienza in un ambiente buio, aiutandosi con la lampadina per illuminare gli oggetti.
- **note** : Per le proprietà dei polaroid si rimanda all'esperienza ...

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Lo stressometro permette di evidenziare piccoli stress nei materiali, anche se non sono apparentemente visibili ad occhio nudo: un caso pratico di utilizzo di questo strumento è verificare se le componenti ottiche (prismi, lenti etc...) si siano deteriorate.

Anche se l'uso pratico dello stressometro di Chella è limitato ad oggetti "di laboratorio", lo studio, anche di interesse industriale, delle deformazioni meccaniche dei materiali in conseguenza a stress, si basa sostanzialmente su principi analoghi: le deformazioni meccaniche cambiano le proprietà di birifrangenza dei materiali, e la loro risposta ad una sollecitazione meccanica diventa manifesta se la radiazione incidente con la quale viene osservata è polarizzata.

LA REALTÀ A QUADRETTI...

(Elaborazione digitale delle immagini)**-) Obiettivi:**

Illustrare il concetto di immagine digitale: l'idea intuitiva di immagine (rappresentazione bidimensionale di un oggetto di estensione variabile, sulla quale il nostro occhio percepisce variazioni di luminosità e di colore) presume che ad ogni punto infinitesimo della superficie continua si possa associare in maniera univoca un colore e un grado di luminosità. Questo in pratica non è possibile poiché un sensore reale non può essere puntiforme, e raccoglie quindi tutta l'informazione relativa ad un'area non puntiforme, per quanto piccola possa essere.

-) Apparato sperimentale:

Uno schermo "Pin-Impression". Alcune immagini digitali rappresentate con differente risoluzione spaziale (eventualmente quelle rese disponibili su un computer su cui sia stato installato il software Digital Image Processing: Hands-on).

-) Conduzione dell'esperienza:

Appoggiando una mano, la guancia o qualsiasi altro oggetto sullo schermo, se ne riesce ad ottenere una rappresentazione per punti.

- **suggerimenti per l'animazione** : Confrontare la rappresentazione del Pin Impression con le immagini digitali a differente risoluzione.
- **note** : La rappresentazione "a punti" ottenuta con lo schermo Pin Impression può servire per introdurre il concetto di pixels .

-) Descrizione del processo fisico:

Lo schermo “Pin Impression” è uno strumento che permette di ottenere un’immagine per punti degli oggetti che vi vengono appoggiati: l’immagine si forma perché ad ogni “sensore” (i.e.: ciascuno dei bastoncini metallici infilati perpendicolarmente al piano di sostegno dello schermo e liberi di scorrervi longitudinalmente) si attribuisce un “valore” che è pari alla profondità dell’impronta lasciata sullo schermo.

-) Riferimenti all’esperienza quotidiana / Analogie:

Se si vuole digitalizzare un’immagine si deve associare un livello nella scala di grigi a ciascun valore numerico rilevato dal “sensore” locale. A questo punto si ottiene un’immagine che può essere elaborata utilizzando un computer. L’immagine digitale è un array rettangolare di pixels (sensori), ciascuno identificato da una posizione (x,y) e da un valore numerico (livello di grigio).

L’immagine digitale riproduce l’immagine reale tanto più fedelmente quanto più grande è il numero di pixels dell’array. Si definisce risoluzione spaziale di un’immagine digitale il numero di pixels che la compongono. È possibile mostrare, mediante un programma (Digital Image Processing: Hands-on) installato sul computer a disposizione, come variandoli numero dei pixels dell’immagine digitale cambi la qualità dell’immagine.

È possibile migliorare la qualità dell’immagine digitale variandone le caratteristiche di contrasto e di luminosità, e riducendo il rumore al suo interno. La migliore qualità di un’immagine è soggettiva, dipende dall’applicazione e dall’osservatore.

L’analisi e l’elaborazione delle immagini digitali trovano molteplici campi di applicazione, dalla fotografia, alla ricerca, alla diagnostica per immagini (ad esempio, in medicina: radiografia, mammografia, risonanza magnetica, PET). Infatti migliorando la qualità delle immagini è possibile migliorare la visibilità di alcuni particolari altrimenti non evidenti nell’immagine originale.

L’APPARENZA INGANNA

(Illusioni ottiche, percezione visiva)

-) Obiettivi:

Esemplificare attraverso delle “illusioni ottiche” come nella percezione visiva, oltre ai fattori fisiologici, entri come componente fondamentale l’elaborazione delle immagini da parte del cervello.

-) Apparato sperimentale:

Dei fogli su cui siano state tracciate combinazioni di linee, curve e figure che riescano a produrre delle illusioni ottiche. Un righello ed una squadra.

-) Conduzione dell'esperienza:

Osservare le immagini e verificare con squadra e righello se:

- I segmenti orizzontali hanno la stessa lunghezza.
- Le rette orizzontali hanno la stessa lunghezza (effetto punto di fuga);
- I cerchi centrali hanno la stessa dimensione.
- Le rette sono parallele in tutte le altre immagini.
- Le rette parallele, contrassegnate da piccoli segmenti obliqui che le attraversano, appaiono come se fossero convergenti tra loro (illusione "delle parallele di Zöllner").
- Fissa il punto centrale tra i due cerchi e muovi la testa avanti e indietro: i due cerchi ruotano.
- **suggerimenti per l'animazione** : Anche se gli occhi sono uguali, ognuno di noi ne ha uno che il cervello privilegia nel processare le informazioni; questo viene chiamato occhio dominante. Unendo il pollice e l'indice di una mano a formare un anello, e posizionandoli a circa 30 cm dal naso, si provi a mirare ad un oggetto distante guardandolo attraverso le due dita, con entrambi gli occhi aperti. Chiudendo, poi, alternativamente gli occhi, si noterà che chiudendone uno in particolare, l'oggetto sarà perfettamente visibile tra le due dita, mentre chiudendo l'altro, l'oggetto risulterà spostato a destra o a sinistra. Bene, l'occhio che è chiuso quando l'oggetto non è visibile tra le dita, è *l'occhio dominante*.

-) Descrizione del processo fisico:

La percezione visiva è il risultato di operazioni successive: acquisizione dei segnali luminosi da parte della retina (immagine capovolta e bidimensionale), conversione degli stimoli luminosi in informazioni neurali, codifica del cervello per ricostruire internamente l'immagine che gli occhi hanno acquisito.

L'interpretazione del mondo quindi è una traslazione, una trasposizione sotto un'altra forma della realtà: il cervello aggiunge, sottrae, riorganizza e codifica le informazioni sensoriali che gli arrivano per fornire un'interpretazione il più possibile esatta del mondo esterno. In questa operazione di codifica le informazioni che ci vengono dal mondo esterno non sono considerate singolarmente, ma vengono raggruppate in contesti significativi.

Le regole che il cervello segue per raggruppare degli elementi e considerarli come oggetti sono:

- a) Regola della prossimità: Gli elementi più vicini vengono percepiti come parte di un insieme.
- b) Regola della somiglianza: Tendenza a "mettere insieme" elementi che sono simili o ripetuti.

c) Regola della simmetria: Tendenza a percepire come oggetti degli elementi che sono simmetrici anziché altri che non lo siano.

d) Regola della continuità: Tendenza a seguire l'apparenza dell'allineamento generale degli elementi di una figura. Questa è la base di ogni tipo di mimetismo.

e) Regola della chiusura: Tendenza a vedere le forme come delineate da un margine continuo ed ignorare eventuali interruzioni di tale continuità.

f) Regola del senso: Tendenza, dopo aver percepito l'essenza di un disegno, ad osservarlo secondo la nuova interpretazione e non più come lo si vedeva prima.

Quando la nostra mente elabora delle immagini bidimensionali, e cerca di ricreare un ambiente tridimensionale, a causa delle figure che le compongono, possono crearsi dei paradossi percettivi.

Quando calcoliamo ad occhio la lunghezza di un segmento, magari per raffrontarlo con un altro, dobbiamo porre attenzione al contesto dove si trova, perché potremmo incappare in errori di valutazione, o più esattamente, nell'illusione di **Müller-Lyer**: l'errata interpretazione delle linee, a causa dei contesti nei quali sono situate, ci fa credere che le dimensioni siano differenti.

-) **Referenze:**

<http://www.illuweb.supereva.it/percez/percfram.htm?p>

DUE UGUALI, MILLE DIVERSI

(Effetto moiré)

-) **Obiettivi:**

Mostrare gli effetti ottici prodotti dalla combinazione di figure d'interferenza dovute alla sovrapposizione di linee tracciate su un foglio ed un lucido che a questo può essere sovrapposto (effetto Moiré).

-) **Apparato sperimentale:**

Fogli bianchi su cui sono stampate figure costituite da linee di vario tipo, e fogli lucidi da sovrapporre ad essi, su cui sono riportati gli stessi disegni.

-) **Conduzione dell'esperienza:**

1. Sovrapporre perfettamente il lucido con il foglio che riporta lo stesso disegno;
2. Spostare o ruotare il lucido rispetto al foglio;
3. Osservare le figure che risultano;
4. Notare che la figura di interferenza dipende dalla distanza dell'osservatore;

5. Altre figure di interferenza compaiono muovendo, lentamente o velocemente, il lucido rispetto al foglio.

-) Descrizione del processo fisico:

L'effetto Moiré appare ogniqualvolta si sovrappongono due oggetti simmetrici o a struttura reticolare. Basta un piccolo spostamento di uno di questi oggetti a generare cambiamenti in tutta la figura.

Il termine Moiré deriva da un tipo di seta in cui questo fenomeno è particolarmente evidente. I Moiré sorprendono perché guizzano da disegni che sembrano banali. Ma la loro importanza va oltre la curiosità che provocano.

L'effetto Moiré è una figura d'interferenza. Si ha interferenza costruttiva nei punti in cui si intersecano le varie linee o circonferenze o ellissi (linee chiare), distruttiva negli altri punti (linee scure). Se le linee (il passo dei reticoli) sono sufficientemente piccoli rispetto al potere risolutivo dell'occhio dell'osservatore l'immagine osservata è costituita solamente dal reticolo "battimento". Questo avviene perché l'occhio agisce come un filtro "passa-basso".

Quando un reticolo trasla rispetto all'altro si ha una traslazione anche delle frange Moiré e lo spostamento lineare è molto più grande rispetto allo spostamento effettivo del reticolo.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

E' un effetto che compare osservando, ad esempio, le maglie della rete metallica di un recinto o di una zanzariera e balza agli occhi un insieme di linee chiare e scure che si spostano mentre ci si muove. Oppure in televisione, quando la giacca a quadri del presentatore o la rete della porta in un campo di calcio interferiscono con le linee orizzontali del televisore.

Questo effetto viene sfruttato per la realizzazione di dispositivi molto sensibili per la misura di piccoli spostamenti. Poiché un piccolo spostamento provoca un effetto globale sulla figura, si ricorre ad essi per scoprire differenze, anche minime, in strutture ordinate, ad esempio per verificare il perfetto allineamento delle linee di un reticolo di diffrazione e per misure di grande precisione su macchine utensili.

-) Referenze:

<http://www.pg.infn.it/adottaunesperimento/descrizione/moire.htm>

<http://www.ino.it/~falco2/MoireIntro.htm>

SPECCHI

(Riflessione luminosa, riflessioni multiple)

-) **Obiettivi:**

Presentare degli esempi di riflessione luminosa su degli specchi. Riflessioni multiple.

-) **Apparato sperimentale:**

Due specchi piani incernierati lungo uno spigolo con dei cardini che permettono di variare l'angolo relativo tra i due. Due specchi piani da poter collocare uno di fronte all'altro.

-) **Conduzione dell'esperienza:**

Posizionare gli specchi ad angolo retto, ed osservare la propria immagine riflessa guardando verso lo spigolo dei due specchi: l'immagine "guarda negli occhi" da qualunque punto e direzione si guardino gli specchi.

Variare l'angolo tra i due specchi, ed osservare la relazione tra l'ampiezza dell'angolo ed il numero di immagini riflesse che si riescono a distinguere.

Osservare quindi le riflessioni multiple che si hanno quando due specchi vengono collocati parallelamente uno di fronte all'altro.

- **suggerimenti per l'animazione** : Confrontare l'inversione destra-sinistra di un'immagine riflessa in uno specchio singolo, con il caso di riflessioni multiple (ogni numero pari di riflessioni la destra e la sinistra tornano "a posto"). Allo scopo si può prendere una breve scritta su un foglio e vedere per quali ordini di riflessione si riesce a leggere l'immagine riflessa.
- **note** : Il caso di due specchi paralleli collocati frontalmente può essere utilizzato per introdurre il principio di funzionamento di una cavità LASER.

-) **Descrizione del processo fisico:**

A partire dalle legge della riflessione (il cammino di un raggio luminoso riflesso da una superficie giace sullo stesso piano del raggio incidente e della normale alla superficie nel punto d'incidenza; l'angolo di riflessione è uguale a quello d'incidenza – legge di Snellius-Descartes), si possono giustificare tutte le proprietà osservate. In particolare:

-) per quanto riguarda gli specchi ad angolo retto, è immediato che un raggio che incide da una parte della coppia di specchi viene riflesso sempre nella direzione d'incidenza (questo spiega perché l'immagine riflessa guardi sempre negli occhi di chi l'ha prodotta).

-) nel caso di specchi con un angolo α arbitrario, il numero di “settori” in cui si vedrà scomposto lo “spazio tridimensionale” virtuale negli specchi sarà uguale a $N = 360^\circ / \alpha$: si vedranno cioè N-1 immagini riflesse dell’oggetto, ciascuna collocata in uno settore tra due specchi, la cui ampiezza angolare è proprio l’angolo α .

-) Il caso di due specchi paralleli è il caso limite precedente: per α che tende a zero, il numero di riflessioni N tende all’infinito. Si vede in realtà che il numero di riflessioni effettive che si riescono a distinguere è piuttosto limitato (tra le 10 e le 20): questo perché nessuno specchio è perfettamente riflettente, e quindi parte della luce viene assorbita in ogni riflessione (le riflessioni successive producono quindi immagini via via più scure). Inoltre, come si può dedurre dalle leggi della riflessione, la distanza virtuale dell’immagine dalla superficie dello specchio è uguale alla distanza reale dell’oggetto riflesso dallo specchio stesso: le immagini riflesse per riflessioni successive sono via via più piccole perché si formano ad una maggiore distanza virtuale dalla superficie dello specchio, e quindi dall’osservatore.

-) Il fatto poi che in un numero pari di riflessioni la destra e la sinistra non risultino più scambiate segue banalmente dal fatto che la destra e la sinistra vengono scambiate ogni volta che avviene una riflessione.

-) Riferimenti all’esperienza quotidiana / Analogie:

Si può far notare che i catarifrangenti di macchine e biciclette sono semplicemente degli specchietti opportunamente disposti.

IL MULINO A LUCE

(Impulso di radiazione, urti elastici e non)

-) Obiettivi:

Osservare che la luce scalda più le superfici nere che quelle lucide, e che la radiazione luminosa riesce ad esercitare una pressione meccanica (pressione di radiazione) sufficiente ad accelerare un oggetto macroscopico (le pale del piccolo mulino, che si trovano in un ambiente con poco attrito).

-) Apparato sperimentale:

E' un oggetto che si trova in vendita nei negozi di gadget; le pale di un piccolo mulino (nere su un lato e chiare sull'altro) sono libere di ruotare all'interno di una sfera di vetro.

-) **Conduzione dell'esperienza:**

Se le pale sono in movimento si cerca di fermarle inclinando il mulino, poi vi si avvicina la lampadina per farle cominciare a ruotare. Si può preventivamente far indovinare ai ragazzi da che parte cominceranno a girare.

- **suggerimenti per l'animazione** : Si può anche mostrare che avvicinando o allontanando la lampadina dall'oggetto, la velocità di rotazione delle pale varia sensibilmente (l'intensità di radiazione diminuisce col quadrato della distanza –l'effetto non è comunque osservabile “istantaneamente” perché a causa dello scarso attrito le pale conservano una notevole inerzia nella rotazione); nel caso della radiazione solare questo ovviamente non si osserva a causa della grande distanza dal sole.
- **note** : Negli urti avvengono scambi di energia e di impulso, che possono essere esemplificati facendo riferimento all'esperienza delle biglie di Newton.

-) **Descrizione del processo fisico:**

Le molecole di un gas si muovono tanto più veloci quanto più esso è caldo, urtando in continuazione fra di loro e con tutti i corpi circostanti. “Scambi di impulso” significa che quando le molecole rimbalzano su un corpo, tendono a farlo rinculare, come una palla che rimbalzando su un carrello gli dà una spinta nella direzione opposta. Di qui viene la pressione che il gas esercita. Sfruttando questa spinta, e la differenza di temperatura tra le due facce, si può far girare il mulino. Nello specifico, le pale del mulino subiscono due effetti: 1) assorbimento o riflessione della luce, 2) urti con le molecole del gas contenuto nell'ampolla.

1) La luce trasferisce energia alle pale del mulino, riscaldandole. Il riscaldamento è maggiore sulla faccia annerita, dove quasi tutta la luce incidente viene assorbita, che su quella lucida, dove quasi tutta la luce incidente viene riflessa. Questa differenza fa parte dell'esperienza comune: stare al sole d'estate con un abito nero, entrare in un'automobile nera che è stata a lungo al sole, ecc...

La luce trasferisce anche impulso (pressione di radiazione). Anche in questo caso c'è differenza tra le due facce: i fotoni riflessi dalla faccia lucida trasferiscono un impulso doppio rispetto a quelli assorbiti dalla faccia nera, come si vede in figura 1. Se nell'ampolla ci fosse il vuoto, questo effetto tenderebbe a far girare il mulino con le facce lucide che retrocedono: l'opposto di ciò che avviene in realtà. Ma la pressione di radiazione è molto piccola e non riuscirebbe a vincere l'attrito.

2) Nell'ampolla non c'è il vuoto: la pressione è molto minore di quella atmosferica, ma non nulla. Quando la luce viene accesa le pale diventano più calde del gas e quindi negli urti cedono energia alle sue molecole. La cessione di energia è accompagnata dalla cessione di impulso. Sulla faccia annerita, che è più calda, la cessione di energia e di impulso sono maggiori che sulla faccia lucida,

come si vede in figura 2. Per questo il mulino si mette a ruotare con le facce scure che arretrano perché dagli urti con le molecole del gas ricevono un rinculo più forte.

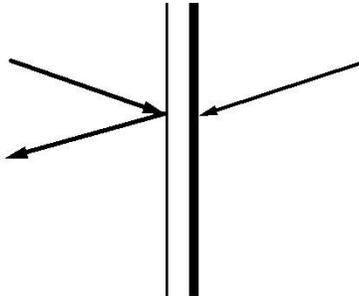


Figura 1. Negli urti con i fotoni la faccia annerita riceve una spinta minore di quella lucida

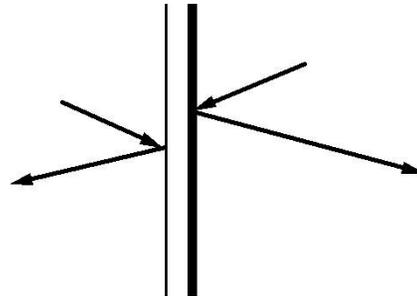


Figura 2. Negli urti con le molecole del gas la faccia più calda riceve una spinta maggiore di quella più fredda

-) **Referenze:**

<http://www-toys.science.unitn.it/toys/it-html/l-motore.html>

PARABOLOIDI

(Onde elettromagnetiche)

-) **Apparato sperimentale:**

L'apparato è formato da 2 paraboloidi di alluminio posti uno di fronte all'altro, due lampadine (una a bassa potenza, colorata, e una da 60W) posizionate nel fuoco di uno dei due paraboloidi.

-) **Obiettivi:**

Lo scopo dell'esperienza è far riflettere i visitatori sulla proprietà delle onde elettromagnetiche di essere concentrate in un punto.

-) **Conduzione dell'esperienza:**

- **AVVERTENZE** attenzione a non far fissare ai visitatori i fuochi dei paraboloidi
- **suggerimenti per l'animazione** Una volta accertato che i due paraboloidi sono allineati si accende la lampadina rossa e si verifica che nel fuoco della parabola opposta se ne forma l'immagine che rispetta le dimensioni originali: "posso toccare una lampadina evanescente". In seguito, si accende l'altra lampadina e si posiziona uno

scontrino (supporto termosensibile) nel fuoco dell'altra parabola, dopo qualche minuto si nota che la carta comincia a bruciare!

- **note** mettere esattamente nel fuoco il pezzo di carta non è banale!

-) Descrizione del processo fisico:

E' lo stesso principio dell'esperienza "dolcetto o scherzetto" e delle parabole usate per riflettere il suono. Le due parabole riflettono sia la luce che il suono, infatti il paraboloide è una superficie riflettente con le seguenti proprietà:

1. Ciò che arriva dall'infinito viene riflesso nel fuoco
2. Ciò che parte dal fuoco viene riflesso all'infinito

Questo viene visualizzato bene dai raggi di luce: una luce molto lontana ("all'infinito" come può essere la luce dal sole) viene focalizzata nel fuoco; allo stesso modo la luce della lampadina viene "spedita" verso l'infinito dalla prima parabola e raccolta e focalizzata dalla seconda nel suo fuoco. Allo stesso modo la luce della lampadina viene spedita verso l'infinito verso l'infinito della prima parabola e raccolta e focalizzata dalla seconda parabola nel suo fuoco. Poiché inoltre la lampadina è una sorgente estesa ma di dimensioni piccole rispetto alla distanza focale, è come se l'intera lampadina si trovasse nel fuoco e dunque nel fuoco della seconda parabola riesco a vedere l'intera immagine della lampadina.

La riflessione del suono si spiega allo stesso modo, tenendo a mente che il suono è un'onda di pressione (in pratica uno spostamento d'aria ondulatorio).

Far notare che le parabole televisive sono la stessa cosa, solo che sono riflettenti per un'altra regione dello spettro elettromagnetico, in quanto i segnali televisivi sono onde elettromagnetiche come la luce che è possibile vedere qui.

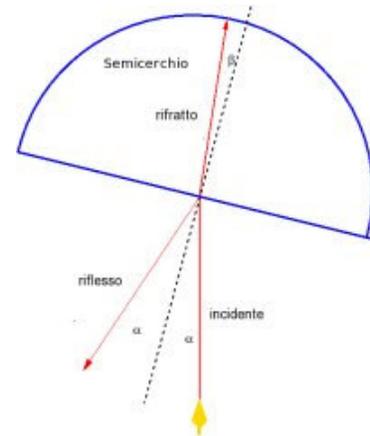
-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Raccontano che Archimede abbia utilizzato dei giganteschi paraboloidi (denominati specchi ustori) per far convergere la luce del sole sulla flotta romana che stava assediando Siracusa, e che in tal modo riuscì a bruciare alcune navi salvando la propria città.

RIFLESSIONE E RIFRAZIONE DELLA LUCE

Primo caso

Un semicerchio di plastica trasparente (plexiglass) di spessore circa un centimetro, viene colpito lateralmente nel centro di rotazione del semicerchio da un sottile raggio laser prodotto da un diodo laser. (vedi figura).



Si osserva:

1. Un raggio riflesso che ritorna indietro con un angolo α rispetto alla normale alla superficie laterale del semicerchio di plastica uguale a all'angolo incidente. L'angolo di riflessione segue la legge geometrica della riflessione della luce.
2. Un raggio, detto rifratto, penetra all'interno della plastica e forma un angolo β con la normale inferiore all'angolo del raggio incidente: $\beta < \alpha$
3. L'energia del raggio incidente si suddivide in energia del raggio rifratto per la maggior parte ed in energia del raggio riflesso.

Quindi passando da un mezzo meno denso a uno più denso il raggio, come si evince dalla figura, si avvicina alla normale; segue la legge di Snell che definisce la relazione geometrica tra gli angoli di incidenza e di rifrazione e gli indici di rifrazione dell'aria e del plexiglass.

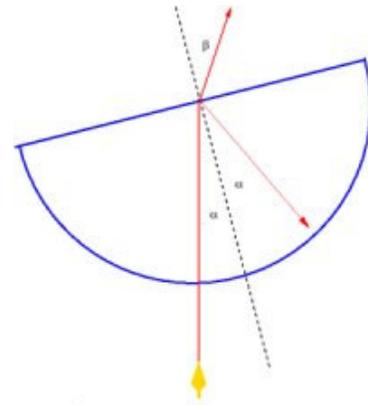
$$n_{\alpha} \sin \alpha = n_{\beta} \sin \beta \quad \text{ovvero} \quad \sin \alpha / \sin \beta = n$$

dove $n = n_{\beta} / n_{\alpha} = 1.5$ l'indice di rifrazione relativo all'aria del plexiglass.

Immaginiamo di ruotare il semicerchio in senso orario per aumentare l'angolo α ; β cresce fino ad un massimo compatibile con $\alpha = 90^{\circ}$, ovvero quando il raggio incidente è praticamente parallelo alla superficie laterale del semicerchio. In quel caso dalla formula di sopra si ricava che l'angolo del raggio rifratto ha un massimo di $\beta = 42^{\circ}$

Secondo caso

Il raggio incidente penetra nel plexiglass attraverso la superficie laterale curva del semicerchio. In questo caso il raggio incidente è sempre perpendicolare al piano tangente alla superficie laterale del plexiglass e pertanto penetra interamente all'interno del semicerchio e colpisce la base superiore del semicerchio.



Si osserva sulla base inferiore

1. Un raggio riflesso sulla base del semicerchio che ritorna indietro con un angolo α rispetto alla normale alla stessa superficie di base uguale a all'angolo incidente. L'angolo di riflessione segue come sopra la legge geometrica della riflessione della luce.

2. Un raggio, detto rifratto, esce dalla superficie di base all'esterno con un angolo β che è superiore all'angolo del raggio incidente: $\beta > \alpha$

L'energia del raggio incidente si suddivide tra la energia del raggio riflesso e quella del raggio rifratto.

Quindi passando da un mezzo denso ad uno meno denso il raggio, come si evince dalla figura, si allontana dalla normale. Anche qui vale la legge di Snell che afferma che la relazione geometrica tra gli angoli di incidenza è ancora

$$\sin \alpha / \sin \beta = n'$$

e con la accortezza di ricordare che adesso α è nel mezzo, mentre β è in aria, si scopre che $n' = 1./1.5 = 0.66666$.

Immaginiamo di ruotare il semicerchio in senso antiorario per aumentare l'angolo α ; β cresce fino a 90 gradi, ovvero fino a quando il raggio rifratto è praticamente parallelo alla superficie laterale del semicerchio. Ruotando ancora di un po' il raggio rifratto scompare del tutto e l'energia del raggio incidente va tutta nel raggio riflesso. L'angolo limite, detto angolo di Brewster, quello che corrisponde alla scomparsa del raggio rifratto, si trova dalla formula di sopra imponendo $\beta = 90^\circ$ e si scopre $\alpha = 42^\circ$ (quello stesso di prima come giustamente deve essere!).

Note sulle fibre ottiche

La fibra ottica è un filo vetroso di diametro 120 micron in cui corrono più o meno parallelamente all'asse i fotoni inviati da un diodo laser. La fibra ha un indice di rifrazione $n=1.4$ e quindi ha un angolo limite di Brewster di circa 45° . Questo ci dice che tutti i fotoni che viaggiano nella fibra che formano rispetto alla normale alla superficie laterale della fibra un angolo maggiore di 45° , restano intrappolati nella fibra e non possono disperdere energia all'esterno. Questi fotoni possono così percorrere centinaia di chilometri prima di essere assorbiti da qualche imperfezione della struttura vetrosa della fibra.

Questa caratteristica rende la fibra ottica un mezzo ideale per la trasmissione dei dati a lunghissima distanza. Nel secolo scorso è nata la società dell'informazione globalizzata. Infiniti dati, parole, suoni, musica e anche immagini cominciarono a correre da una parte all'altra del mondo su fili di rame attivati da segnali elettrici codificati, in base all'informazione da trasmettere, in ampiezza (segnali analogici). I servizi telegrafici e telefonici sono i primi servizi largamente usati che sfruttano la tecnologia analogica su vaste reti, in fili di rame, che vanno da una parte all'altra del mondo e raggiungono localmente ogni angolo delle città. Nella seconda metà del secolo passato, insieme ai computer, nasce la codifica digitale dell'informazione che consiste di trasformare i livelli di tensione analogici in numeri campionandoli a frequenza elevata. Questi numeri sono facilmente trasmissibili senza errori sulle linee di allora anche a media distanza. Così quelle telefonate che spesso risultavano incomprensibili per il rumore di fondo difficilmente eliminabile divennero del tutto accettabili. Contemporaneamente nascevano le fibre ottiche. Queste invece di sfruttare la corrente elettrica si basavano sulla trasmissione di fotoni luminosi, trasmessi in serie e temporalmente ordinati in accordo con i codici digitali delle informazioni da trasmesse. I fotoni corrono per chilometri e chilometri lungo la fibra (un filo vetroso di 120 micron e perfettamente trasparente) rimanendo confinati all'interno della fibra senza disperdersi all'esterno per un fenomeno fisico noto basato sulla tecnica della riflessione totale. (vedi la scheda sulla riflessione e rifrazione).

La capacità trasmissiva di una fibra è infinitamente più grande di un filo di rame; per esempio è possibile trasmettere a grande distanza un milione di canali televisivi contemporanei su una fibra ottica contro i pochi canali, diciamo 5, su filo di rame e a piccola distanza!. Le grandi reti dei dati, come per esempio la grande rete telematica pubblica mondiale, ovvero la "ragnatela del mondo" il web, pur essendo inizialmente in rame oggi ha una infrastruttura che per il 90% in fibra ottica.

L'esperienza in esposizione.

Un trasmettitore, in particolare un diodo laser, genera un impulso luminoso rosso quando si chiude un interruttore presente nell'esperienza a forma di interruttore "morse". La luce entra nella fibra (la

fibra in mostra è molto più spessa di quella comunemente usata), corre lungo questa e arriva in fronte ad un rivelatore di luce (fotodiodo). Il fotodiodo appena rivela il treno di fotoni luminosi attiva un cicalino come risposta alla chiusura iniziale dell'interruttore morse. L'interruttore morse ricorda il passato, quando l'informazione correva lungo i fili codificata a mano e lentamente in "punti e linee". La fibra significa la modernizzazione, l'epoca moderna che vede correre sulle fibre ottiche milioni di milioni di impulsi il secondo su distanze mondiali.

Nota:

Oggi l'informazione corre anche nell'etere, in onde elettromagnetiche, tuttavia la fibra è e resterà il mezzo di trasmissione per eccellenza, poiché ha una capacità infinita contro la capacità ridotta dell'etere, non è elettromagneticamente inquinante ed è alla base di una infrastruttura di rete facilmente scalabile a secondo delle necessità.

TERMODINAMICA

IL TERMOMETRO DI GALILEO

(Legge di Archimede, variazione della densità di un liquido con la temperatura)

-) **Obiettivi:**

Illustrare il funzionamento di un termometro di Galileo, che si basa sulla variazione di densità di alcuni liquidi con la temperatura, e sulla conseguente differente spinta idrostatica che questi ricevono.

-) **Apparato sperimentale:**

Il dispositivo è costituito da un cilindro di vetro contenente un liquido la cui densità aumenta sensibilmente al decrescere della temperatura. All'interno del cilindro sono contenute delle ampolline di vetro contenenti del liquido colorato. Tali ampolline hanno densità medie differenti fra di loro e ad esse sono appese delle targhette su cui viene indicata la temperatura.

-) **Condizione dell'esperienza:**

Quando il termometro ha raggiunto l'equilibrio termico con l'ambiente esterno, si può leggere la temperatura osservando il numero riportato sulla più bassa fra le ampolline rimaste a galla.

- **suggerimenti per l'animazione** : Perché le ampolline non cambiano densità, se la temperatura cambia anche per loro? La risposta è molto semplice: il vetro di cui è costituito il loro "guscio" si dilata e si contrae in modo del tutto trascurabile per queste variazioni di temperatura (il termometro lavora con temperature vicine a quella ambiente) . Risulta quindi che il volume delle ampolline può essere considerato sempre costante e quindi anche la loro densità.

-) **Descrizione del processo fisico:**

Se l'ambiente esterno si trova a temperatura molto bassa, il liquido all'interno del cilindro risulta avere una densità maggiore di quella di qualsiasi ampollina, e quindi queste rimarranno tutte a galla. Al contrario ad alte temperature andranno tutte a fondo. A temperature intermedie cadranno sul fondo solo le ampolline con densità superiore a quella del liquido: quella che si trova al livello più basso fra quelle galleggianti avrà densità appena inferiore a quella del liquido e quindi ne indicherà approssimativamente la temperatura. I numeri indicati su ciascuna di esse sono stati opportunamente tarati.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Per far notare che il galleggiamento più o meno buono dalla densità del liquido in cui si è immersi, si può ricordare che si galleggia meglio nell'acqua salata (più densa) che nell'acqua dolce, ad esempio della piscina.

SE MI AGITI MI CONGELO

(Equilibrio metastabile: stato liquido sottoraffreddato)

-) Obiettivi:

L'esperienza vuole mostrare il fenomeno del sottoraffreddamento di un liquido (acqua).

-) Apparato sperimentale:

Delle fialette di acqua pura (si consigliano quelle per preparati medici normalmente disponibili in farmacia), ed un congelatore (ad esempio una gelatiera).

-) Conduzione dell'esperienza:

- Porre (preventivamente) una fiala di acqua per preparati iniettabili estremamente pura dentro un congelatore, ad una temperatura approssimativamente di $T = -25^{\circ}\text{C}$.
- Dopo circa un'ora la fiala di acqua si è portata alla temperatura di -25°C senza diventare ghiaccio (dopo alcune ore una parte delle fiale sarà congelata: è un fattostatistico!).
- Estrarre la fiala è mostrare che l'acqua è ancora liquida e far vedere che invece alcune fiale sono cristallizzate, quindi la gelatiera funziona...
- Consegnare la fiala all'ignaro visitatore e chiedergli di agitarla vigorosamente: l'acqua cristallizza istantaneamente.
- Attendere lo scongelamento completo del ghiaccio e riporre la fiala nella gelatiera.

La cristallizzazione è così violenta che si sente il rumore della formazione del ghiaccio.

In linea di principio dovrebbe essere possibile osservare che la fiala aumenta istantaneamente di temperatura, portandosi dai -25°C alla temperatura di transizione di 0°C ; tuttavia in pratica il contenitore di vetro ritarda la propagazione del calore.

- **AVVERTENZE** : Per la riuscita dell'esperienza, le fiale d'acqua devono restare nel congelatore per almeno dieci-quindici minuti: vanno dunque preparate prima di mostrare l'esperienza al pubblico. Si ricorda inoltre che, col passare del tempo, tutte le fiale nel

congelatore tenderanno a cristallizzare e quindi a rompersi, dal momento che il ghiaccio occupa un maggior volume dell'acqua liquida: si raccomanda perciò di spegnere il congelatore o estrarre da esso le fiale se si prevede di non ripetere l'esperienza entro una mezz'ora.

- **suggerimenti per l'animazione** : E' possibile confrontare le temperature di due fiale, una liquida ed una che viene cristallizzata (quella liquida è più fredda!).

-) **Descrizione del processo fisico:**

Quando un liquido puro, ad esempio acqua, viene lentamente raffreddato esso mantiene il suo stato di liquido anche al di sotto della temperatura di cristallizzazione (formazione di ghiaccio). Questo fenomeno è detto di sottoraffreddamento. Il liquido si trova in uno stato metastabile e finché non avviene la nucleazione del primo cristallo rimane in uno stato fluido. La nucleazione del primo grano cristallino e quindi l'inizio della cristallizzazione è un fenomeno statistico: la probabilità aumenta con il grado di sottoraffreddamento e in presenza di impurità. La formazione del primo cristallo microscopico di ghiaccio nello stato metastabile dà luogo ad una trasformazione istantanea del liquido alla fase solida. Non necessariamente tutto il liquido si trasforma in cristallo, ma solo la frazione necessaria a liberare energia sufficiente per portare tutto il sistema alla temperatura di transizione. Tanto maggiore è la distanza in temperatura dalla temperatura di transizione, tanto maggiore è la frazione di liquido che cristallizza (ovviamente dipende dalla capacità termica e dall'entalpia di cristallizzazione). La formazione del primo nucleo di cristallizzazione può essere indotta anche da una perturbazione di tipo meccanico, con una fluttuazione di densità locale che dà luogo alla nucleazione.

-) **Referenze:**

1. H. G. Hertz, "....." in F. Franks (Ed), "**Water, A Comprehensive Treatise**", Vol 3, (Plenum Press, New York, 1973), p. 301.
2. F. Franks, "*Introduction - water, the unique chemical*", in F. Franks (Ed), "**Water, A Comprehensive Treatise**", Vol. 1, (Plenum Press, New York, 1972) pp. 1-20.
3. C. W. Kern, M. Karplus, "*The water molecule*", in F. Franks (Ed), **Water, A Comprehensive Treatise**, Vol. 1, (Plenum Press, New York, 1972) pp. 21-91.

SUDO FREDDO

(Celle peltier)

-) **Obiettivi:**

L'esperienza vuole illustrare il funzionamento di una cella Peltier.

-) **Apparato sperimentale:**

Una cella Peltier con opportuno alimentatore

-) **Conduzione dell'esperienza:**

Far impugnare al visitatore la cella Peltier: con una mano si sostiene il sistema, con le dita dell'altra mano si toccano le due facce della cella Peltier. Si accende quindi l'alimentatore e si aumenta progressivamente la corrente erogata, fino al massimo di 1 Ampere (Le due superfici della cella cambiano rapidamente temperatura (una si riscalda, l'altra si raffredda): i visitatori possono sentire personalmente la variazione di temperatura toccando le celle. Se a questo punto si cambia la polarità dell'alimentazione elettrica mediante l'interruttore posto sul cavo di alimentazione della cella Peltier, si può far notare all'utente che la superficie che era fredda si scalda, e viceversa. A dimostrazione conclusa si azzeri la corrente erogata dall'alimentatore.

- **AVVERTENZE** : La manopola che regola la tensione è bloccata al limite dei 5 Volt, verificare che tale valore di tensione non sia superato, pena la rottura della cella.
La temperatura della cella aumenta rapidamente è quindi necessario porre attenzione alla quantità di corrente fornita per non provocare ustioni al bambino.
Spegnere l'alimentatore a fine dimostrazione: l'esperimento deve durare pochi secondi perché la cella si scalda complessivamente per effetto Joule. Prima di ripetere l'esperimento attendere il raffreddamento della cella.
- **note** : Le celle Peltier assorbono un gran quantitativo di corrente, una cella di dimensioni 40x40x4 mm da 40W e alimentata a 12V assorbe circa 4A.

-) **Descrizione del processo fisico:**

Nel 1834, il fisico francese Jean Charles Peltier, in seguito ad esperimenti con l'elettricità, scoprì un fenomeno fisico che consiste nella trasmissione di calore tra due superfici in presenza di tensione continua, di cui la moderna cella Peltier rappresenta l'applicazione.

L'effetto Peltier realizza una differenza di temperatura tra due giunzioni tra conduttori elettrici percorse da corrente elettrica. L'utilizzo di materiali semiconduttori ha reso il fenomeno più

eclatante ed ha permesso di sfruttare l'effetto Peltier per il raffreddamento/riscaldamento. Le celle Peltier vengono utilizzate per il cosiddetto thermo-electric cooling (TEC).

Una cella Peltier è formata dall'insieme di molte giunzioni tra due materiali semiconduttori, chiamati (drogati) tipo N e tipo P, collegate tra loro da lamelle di rame. Se applichiamo al tipo N una tensione positiva e al tipo P una tensione negativa, vedremo che la lamella superiore si raffredderà, mentre quella inferiore si scalderà. Se invertiamo le connessioni e al tipo N forniamo una tensione negativa e al tipo P una tensione positiva il processo si inverte e la lamella superiore si scalderà e la lamella inferiore si raffredderà.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

La cella Peltier può creare un salto di temperatura tra le due superfici di circa 70 °C. Da notare che la cella complessivamente si scalda per effetto Joule, quindi l'applicazione pratica delle celle Peltier per il raffreddamento (ad esempio frigo portatile) deve prevedere un modo efficiente di estrazione del calore dalla superficie calda. In altre parole, una cella isolata termicamente dall'esterno ed alimentata, complessivamente si scalda fino a danneggiarsi (a 200 °C circa).

Un fenomeno analogo ma opposto è l'effetto Seebeck, per cui realizzando due giunzioni tra conduttori elettrici diversi (a formare un circuito chiuso) a temperatura diversa, si ha passaggio di corrente nel circuito. Nel caso di una singola giunzione si ha la presenza di una forza elettromotrice (f.e.m.) dell'ordine di un mVolt, che dipende unicamente dai metalli utilizzati e dalla temperatura della giunzione. L'effetto Seebeck viene sfruttato per la realizzazione di termometri (termocoppia).

-) Referenze:

<http://www.rmtltd.ru/articles/Thermoelectric%20Cooling%20Modules.pdf>

<http://www.termotech.com/ita/default.htm>

LA DANZA DELL'ACQUA

(Effetto leidenfrost: ebollizione su lamina di vapore)

-) Obiettivi:

L'esperienza vuole illustrare l'effetto Leidenfrost (ebollizione su lamina di vapore), che caratterizza il comportamento di gocce d'acqua su una piastra calda: le gocce d'acqua sembrano danzare sulla piastra.

-) Apparato sperimentale:

Un piastra riscaldata da un fornello (elettrico o a gas), una siringa da riempire con dell'acqua distillata.

-) Conduzione dell'esperienza:

- Accendere il fornello mediante l'interruttore posto sulla presa elettrica multipla.
- Riempire una siringa con acqua distillata (l'acqua normale deposita calcare sulla piastra).
- Dopo pochi secondi versare l'acqua della siringa sulla piastra calda come se si versasse olio sull'insalata.
- Infine versare l'acqua solo nell'avvallamento centrale della piastra ed aggiungerne progressivamente per ingrossare la goccia che si è formata, compensando l'evaporazione.
- **AVVERTENZE** : Al termine dell'esperienza spegnere la piastra per evitare che si danneggi e che diventi troppo calda. Fare attenzione che visitatori incauti non si ustionino con la piastra.

-) Descrizione del processo fisico:

L'effetto osservato in questo esperimento, conosciuto col nome di effetto Leidenfrost o anche come ebollizione su lamina di vapore, è dovuto al fatto che appena la goccia d'acqua si trova a contatto con la superficie della piastra calda, il microstrato della goccia evapora in tempi molto rapidi e forma un cuscino di vapore che sostiene la fase liquida rimasta. Questo cuscino di vapore provoca due effetti importanti:

1. sostiene la goccia riducendo i fenomeni di attrito con la piastra.
2. rallenta la trasmissione di calore (la conducibilità termica del vapore è molto bassa) fra la piastra e la goccia permettendo a questa di evaporare in un tempo più lungo rispetto ad una goccia a contatto diretto.

Il vapore prodotto spinge verso l'alto la goccia d'acqua che non riesce ad aderire alla piastra calda. La goccia riceve un impulso verso l'alto dal vapore ogni volta che si avvicina alla piastra stessa.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Lo stesso effetto viene sfruttato, ad esempio, da chi si inumidisce le dita per saggiare se un ferro da stiro è alla temperatura giusta.

-) Referenze:

<http://www.vialattea.net/esperti/paranorm/pirobazia.ht>

L'AMPOLLA MAGICA

(Proprietà colligative dell'acqua: pressione e temperatura di ebollizione)

-) Obiettivi:

L'esperienza mostra come il punto d'ebollizione dell'acqua (ovvero il valore della temperatura al quale l'acqua passa dallo stato liquido a quello gassoso) è influenzato dalla pressione a cui è sottoposto il liquido.

-) Apparato sperimentale:

Due ampolle contenenti acqua: una è aperta, l'altra è stata sigillata sotto vuoto; fiammiferi; un apposito supporto su cui appoggiare le due ampolle, in modo da poterle riscaldare dal basso con un fiammifero.

-) Condizione dell'esperienza:

Mostrare le due ampolle contenenti acqua: una è aperta, l'altra è stata sigillata sotto vuoto. Posizionarle quindi sull'apposito supporto, ed accendere un fiammifero sotto ciascuna ampolla, contemporaneamente: l'acqua sotto vuoto arriva all'ebollizione riscaldata dal solo fiammifero, mentre quella aperta, trovandosi alla pressione atmosferica, si scalda soltanto.

- **AVVERTENZE** : Dopo ogni esperienza pulire le ampolle che si sono annerite con la fiamma del fiammifero.
- **suggerimenti per l'animazione** : Per meglio evidenziare il fenomeno dell'ebollizione nell'ampolla chiusa sono stati inseriti dei pezzettini di vetro, conviene dare un col pettino con le dita per facilitarne il movimento.
- **note** :

-) Descrizione del processo fisico:

Il punto di ebollizione dell'acqua dipende dalla pressione del suo vapore, come è riportato anche nell'equazione di Clapeyron. Da questa esperienza si nota in particolare che un aumento di pressione provoca un aumento del punto di ebollizione dell'acqua (a pressione ambiente sarebbe 100° C , cioè circa 373° K). Si può spiegare questo fatto nel modo seguente.

Anche al di sotto della temperatura d'ebollizione, sopra all'acqua liquida c'è del vapore, la cui pressione aumenta al crescere della temperatura. Una parte del vapore se ne va via nell'aria; un'altra parte si raccoglie invece nelle piccolissime bollicine d'aria che si trovano disperse nel liquido

(magari sono tanto piccole che non riusciamo a vederle; ma ci sono). Quando si raggiunge la temperatura alla quale il vapore ha la stessa pressione dell'ambiente esterno, in queste bollicine il vapore s'espande, perché non c'è più una differenza di pressione che le schiaccia. Esse allora s'ingrossano, diventano facilmente visibili e salgono verso la superficie. L'ebollizione è proprio questo. A 100 °C il vapor d'acqua ha una pressione (tensione di vapore) pari a 1 atm: ecco perché, quando la pressione dell'aria è esattamente 1 atm, l'acqua bolle a 100 °C.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Se ci spostiamo sul Monte Bianco, a 4810 metri di altezza dove tipicamente la pressione atmosferica è di circa 0,7 atm, l'acqua bolle a 82 °C, infatti è questa la temperatura a cui il suo vapore ha, in condizioni d'equilibrio (vapor saturo), una pressione uguale a quella dell'atmosfera.

Curiosità: il fatto che l'acqua bolle a 82 °C ci impedisce di fare le uova sode sul Monte Bianco, in quanto questa temperatura non è sufficiente a produrre la trasformazione chimica (polimerizzazione) che noi chiamiamo "far le uova sode".

Quanto detto spiega anche perché i cibi cuociono più velocemente nella pentola a pressione: l'ebollizione dell'acqua avviene ad una temperatura maggiore e la cottura è più rapida. All'interno della pentola, man mano che la temperatura cresce, la pressione sul liquido aumenta perché il vapore non può sfuggire all'esterno e quindi preme sempre più, finché sentiamo lo sbuffo della valvola di sfogo. La valvola si apre quando all'interno la pressione è diventata uguale a quella dell'aria esterna più quella del peso o della molla che c'è sopra la valvola stessa. D'ora in poi la pressione nella pentola non sale più: rimane costante finché non si spegne la fiamma. L'ebollizione dentro la pentola avviene insomma a più di 1 atm. Se per esempio la valvola è progettata per aprirsi per una differenza di pressione di 1 atm (cioè a 2 atm a livello del mare), l'acqua bolle a circa 120 °C: a quella temperatura il vapore saturo ha appunto una pressione di 2 atm. Un altro esempio culinario: il caffè fatto al bar o nelle macchinette espresso è più forte che nella vecchia napoletana, perché l'acqua è a più di 100 °C e quindi estrae meglio dalla polvere l'aroma e il resto.

-) Referenze:

<http://www.water.rete.livorno.it/contenuti/scienza/Ebollizione.htm>

Termodinamica, E. Fermi Boringhieri

PALLONCINO

(Espansione adiabatica di un gas)

-) Obiettivi:

Mostrare come un gas, espandendosi adiabaticamente contro una pressione esterna, perda energia raffreddandosi.

-) Apparato sperimentale:

Un normale palloncino di gomma, da gonfiare a fiato.

-) Conduzione dell'esperienza:

Si tratta semplicemente di gonfiare un palloncino di gomma; dopo aver eseguito l'operazione a fiato, la gomma ha più o meno la temperatura dell'aria nei polmoni (cioè la temperatura corporea media umana, 35° C). A questo punto si lascia che il palloncino si sgonfi completamente e velocemente, rilasciandone il collo; se alla fine si tocca la gomma, si avverte distintamente una sensazione di fresco.

- **AVVERTENZE** : È importante non aspettare troppo prima di sgonfiare il palloncino, altrimenti raggiungerà la temperatura circostante e non si sentirà alcuna differenza una volta sgonfiato.
- **suggerimenti per l'animazione** : Far stimare al pubblico la temperatura del palloncino appena gonfiato, facendoglielo toccare con mano.
- **note** : Per illustrare lo scambio di energia cinetica tra le molecole di gas in movimento e la perdita di parte di tale energia sottoforma di calore, si può fare riferimento all'esperienza delle biglie di Newton.

-) Descrizione del processo fisico:

Si può spiegare il raffreddamento della gomma del palloncino ricordando che la temperatura di un gas è esattamente dovuta all'energia cinetica media delle sue molecole ($\langle E_K \rangle \approx kT$, dove T è la temperatura assoluta del gas espressa in gradi Kelvin), e che gli urti anelastici tra le molecole del gas e quelle della gomma del palloncino tendono a portare i due sistemi all'equilibrio termico (secondo principio della termodinamica). Rilasciando il collo del palloncino, le molecole del gas che vi era contenuto fuoriescono, cessando gli urti con la parete di gomma (in realtà lasciano immediatamente il posto alle molecole dell'aria circostante, che è comunque più fredda).

Si noti che la buona riuscita di questa semplice esperienza si basa sulla separazione temporale tra la termalizzazione dal gas soffiato nel palloncino con la gomma (si suppone sufficientemente breve), e quello del palloncino con l'aria (più lunga). È per questo motivo che se il palloncino non viene lasciato sgonfiarsi dopo breve tempo che è stato gonfiato, a causa degli urti tra le molecole della gomma e quelle dell'aria circostante, la sua temperatura, e quindi quella del gas in esso contenuto, tenderà ad uguagliare quella dell'ambiente.

Si può descrivere il fenomeno in modo meno intuitivo senza ricorrere agli urti molecolari e facendo riferimento soltanto al primo principio della termodinamica ($\Delta U = Q - P\Delta V$): dal momento che il gas è lasciato fuoriuscire dal palloncino in un tempo più breve di quello che impiegherebbe per uguagliare la propria temperatura all'aria circostante, l'espansione può essere considerata approssimativamente adiabatica, e cioè senza scambio di calore ($Q = 0$); poiché espandendosi il gas compie un lavoro contro la pressione, troviamo $\Delta U < 0$, e quindi la sua energia cinetica finale risulta inferiore a quella iniziale. Questo corrisponde ad una T finale inferiore

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie: si può verificare un'esperienza simile toccando la pompa di bicicletta dopo che si è gonfiato la ruote

IL FILO FANTASMA

(Proprietà colligative: pressione e temperatura di fusione)

-) Obiettivi:

L'esperienza mostra come la pressione influenzi il punto di fusione del ghiaccio, ovvero il valore della temperatura al quale l'acqua passa dallo stato solido a quello liquido.

-) Apparato sperimentale:

Un filo le cui estremità siano fissate ad un peso, ed un'asticella sufficientemente robusta da sostenerlo. Il cubetto di ghiaccio deve essere appoggiato sull'asticella; il filo deve essere appoggiato sul cubetto in modo che il peso ad esso fissato resti pendente, al di sotto dell'asticella.

-) Conduzione dell'esperienza:

- Prendere un cubetto di ghiaccio dal freezer portatile;
- Posizionarlo sull'apposita tavoletta;
- Porre il filo con i pesi sul cubetto di ghiaccio;

- Attendere che il filo abbia attraversato tutto il cubetto e poi far vedere che il cubetto è intero staccandolo dalla tavoletta di legno. Il filo, esercitando una forte pressione sul ghiaccio a causa del peso applicato, provoca la fusione del cubetto e penetra lentamente in esso. Nei punti attraversati dal filo l'acqua liquida si ricongela, ed in tal modo il filo attraversa il ghiaccio, apparentemente senza dividerlo.
- **AVVERTENZE** : ricordarsi di “ricaricare” il frigo via via riempiendo le vaschette per formare i cubetti

-) Descrizione del processo fisico:

L'aumento di pressione provoca una diminuzione del punto di fusione dell'acqua, che, alla pressione ambiente, è di 0°C (273 K). Ad esempio, applicando un peso di 5 Kg su un cubetto di ghiaccio tramite un filo di diametro 0.2 mm, la temperatura di fusione locale diminuisce di circa 3 gradi. Tale valore si deduce applicando l'equazione di Clapeyron. In questo modo, poiché il cubetto ha una temperatura di zero gradi centigradi, nei punti di contatto col filo comincia a sciogliersi. Il passaggio di stato avviene alla temperatura di fusione, e quindi l'acqua appena liquefatta ha una temperatura inferiore agli 0°C (circa -3°C , come detto sopra): questo fa sì che nei punti già attraversati dal filo, venendo meno la pressione e tornando la temperatura di fusione ad essere gli 0°C , si verifichi nuovamente il fenomeno di congelamento dell'acqua liquida.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Questo fenomeno spiega, ad esempio, il lento scorrimento verso valle dei ghiacciai: il ghiaccio, premendo contro le rocce, si scioglie localmente; l'acqua così creata può aggirare l'ostacolo contro cui il ghiacciaio preme, e ricongelarsi dopo averlo superato, quando la pressione è tornata a quella atmosferica.

-) Referenze:

- 1) Termodinamica, E. Fermi Boringhieri pa
- 2) <http://pcangelo.eng.unipr.it/DispenseArch01/gargallo138748/gargallo138748.htm>

LA MANO E IL CALORE

(Capacità termica)

-) **Obiettivi:**

Materiali con diversa capacità termica, pur se alla stessa temperatura, possono comunicare sensazioni di calore differente.

-) **Apparato sperimentale:**

Alcuni materiali con diversa capacità termica (lamine di: ottone, alluminio, legno, rame, plastica, ceramica). Un foglio a cristalli liquidi.

-) **Condizione dell'esperienza:**

Toccare i vari materiali e dare un giudizio sulla loro temperatura.

- **suggerimenti per l'animazione:** Perché i materiali sembrano avere diversa temperatura? Metti la mano sul foglio a cristalli liquidi: cosa indicano i diversi colori?

-) **Descrizione del processo fisico:**

Trovandosi tutti in equilibrio termico con l'ambiente circostante, gli oggetti possiedono tutti la stessa temperatura. La diversa sensazione di calore che percepiamo nel toccarli ci deriva dalla differente capacità termica (C) che possiedono: questa misura la quantità di calore che, a parità di differenza di temperatura, assorbono o cedono ad i corpi con cui entrano in contatto ($Q = C\Delta T$). Di conseguenza, dal momento che la temperatura ambiente è tipicamente inferiore a quella del corpo umano, la quantità di calore che cediamo agli oggetti nell'unità di tempo durante il contatto, è tanto maggiore quanto maggiore è la loro capacità termica; quelli a cui cediamo calore più rapidamente (i.e.: con i quali tendiamo a raggiungere l'equilibrio termico in un tempo più breve) li riconosciamo come "più freddi".

I cristalli liquidi del foglio cambiano il loro colore a seconda della temperatura che raggiungono (la scala dei colori, ordinata per temperature via via crescenti, è: nero, rosso giallo, verde, blu, con tutte le sfumature intermedie): la loro scala di colore svolge cioè la funzione di un termometro. I piccoli quadratini in contatto con i singoli oggetti di diverso materiale, avendo lo stesso colore indicano quindi uguali temperature.

-) **Referenze:**

Bibliografia: Zemansky "Calore e termodinamica" Zanichelli Bologna

ACUSTICA

VOLA FARFALLA

(DIGITALIZZAZIONE ED ANALISI DEL SUONO)

-) **Obiettivi:**

Mostrare un esempio di digitalizzazione ed analisi del suono.

-) **Apparato sperimentale:**

Un computer, su cui sia stato installato l'opportuno software, collegato ad un microfono in ingresso e ad uno schermo.

-) **Condizione dell'esperienza:**

Il software è tale che sul monitor di un computer appare un paesaggio di fantasia: un prato pieno di grandi fiori con una farfalla. Il gioco consiste nel far posare la farfalla su tutti i fiori che compaiono e "farli sbocciare", evitando che sia catturata dalle lucertole di passaggio. Mediante un microfono la farfalla può essere spostata sopra i fiori da destra verso sinistra o dall'alto verso il basso variando opportunamente tono e volume della voce.

- **AVVERTENZE** : Tendenzialmente alla fine l'animatore ha un notevole mal di testa... comunque è suggeribile far cimentare un ragazzo alla volta!
- **suggerimenti per l'animazione** : Si può strutturare come una gara tra i ragazzi evidenziando le differenze naturali di tono nella voce di ciascuno di loro.

-) **Descrizione del processo fisico:**

La possibilità di comandare la farfalla tramite il microfono è realizzata grazie ad un processo di digitalizzazione ed analisi del suono della voce. La propagazione del suono avviene per mezzo d'onde di compressione dell'aria, caratterizzate da un'ampiezza (che corrisponde all'intensità del suono) e da una frequenza (che corrisponde al tono). Un'onda sonora può essere rivelata tramite una membrana vibrante, e in particolare intensità e tono del suono possono essere ricavati misurando le vibrazioni che si instaurano sulla membrana che entra in contatto con l'onda sonora. Il suono così registrato (nel nostro caso attraverso il microfono) non può essere inviato ad un computer. Il passaggio intermedio che è necessario è quello relativo all'elaborazione del segnale registrato dal microfono. Tale segnale (analogico) viene digitalizzato rendendolo così adatto ad essere inviato ad un computer. Il computer quindi riceve in ingresso un segnale, che è capace di "leggere" e che può quindi utilizzare per ottenere le informazioni di cui necessita. Per esempio, nel caso del gioco della farfalla immaginate che il paesaggio con i fiori sia tutto ricoperto da una rete fittissima i cui nodi corrispondono ai punti su cui si può muovere la farfalla. È possibile a questo punto associare ad ogni nodo una coppia di valori che corrispondono ad un suono di una certa intensità e tonalità. A

questo punto è facile immaginare come sia possibile realizzare un software che associ ad un suono di una certa intensità e tonalità il comando di muovere la farfalla in un determinato punto della nostra rete (quello appunto associato al suono di quella intensità e tonalità). In questo modo è quindi possibile muovere la farfalla con il semplice aiuto del microfono, senza alcun joystick. È importante che i ragazzi provino a giocare per rendersi conto che molte volte quando provando a cantare pensano di cambiare tono della voce in realtà ne variano solo l'intensità: questo si nota perché spesso pur cercando di muovere la farfalla orizzontalmente cambiando tono della voce, la farfalla si sposta verticalmente (lo spostamento verticale corrisponde ad un cambiamento di intensità).

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Sistemi di digitalizzazione ed analisi del segnale sonoro sono ormai utilizzati in molti sistemi di riproduzione musicale (per esempio nei lettori cd, ma anche negli stereo adatti alla ricezione di canali digitali), grazie alla ottima qualità del suono che trasmesso come segnale digitale può essere ripulito da eventuali rumori. Sistemi di decodificazione vocale vengono anche utilizzati per realizzare impianti di sicurezza a riconoscimento vocale: il suono della nostra voce è registrato da un sensore molto sensibile ed analizzato per ricavarne le caratteristiche da confrontare con quelle della voce precedentemente registrata. Un altro esempio di digitalizzazione ed analisi vocale si ritrova nei telefonini che permettono di richiamare vocalmente un numero telefonico desiderato.

-) Referenze:

http://www.irre.lombardia.it/bitbit/concetti/comp_soft/editor/editor_c.htm

http://hal9000.cisi.unito.it/wf/Servizi-pe/Universit-/Corsi--Mat/LEDA/Corso-di-I/Unit--12/2_14.htm_cvt.htm

BASTONI DELLA PIOGGIA

-) Obiettivi:

Mostrare il funzionamento dei “bastoni della pioggia”, rudimentali strumenti musicali e rituali, il cui suono ricorda quello delle gocce d'acqua che cadono su una superficie.

-) Apparato sperimentale:

Un “bastone della pioggia”: è costituito da un cilindro di legno chiuso, ricavato da piante di cactus provenienti dal Cile, al cui interno sono presenti dei semi liberi di muoversi; sulle pareti interne vi

sono numerosi piccoli aghi. Viene fissato ad un supporto verticale in modo che possa essere fatto ruotare attorno ad un perno perpendicolare all'asse del cilindro.

-) Conduzione dell'esperienza:

Facendo lentamente ruotare il bastone attorno al perno orizzontale, si sente il caratteristico rumore di "gocce di pioggia" provenire dal suo interno.

-) Descrizione del processo fisico:

Il caratteristico suono che si sente provenire dal bastone è dovuto al fatto che il suo interno è cavo, e sulle sue pareti ci sono degli aghetti su cui urtano i numerosi semini che cadono da un'estremità all'altra del bastone, ogni volta che questo viene capovolto

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Il "bastone della pioggia" è un primitivo strumento musicale usato in cerimoniali sacri.

CHIMICA

OROLOGIO A FRUTTA

-) Apparato sperimentale:

L'orologio è costituito da un display, un po' di elettronica e da due frutta, qui nella figura due arance, che funzionano da elettrolita delle pile.

-) Apparato sperimentale:

1. Si inserisce il capo in ottone del filo rosso in una frutta (quella in basso per esempio)
2. Si inserisce il capo del filo celeste in zinco nella frutta in alto.
3. Si inserisce il capo in zinco del filo giallo nella frutta in basso
4. Si inserisce l'altro capo del filo giallo, che è in ottone, nella frutta in alto.



-) Descrizione del processo fisico:

Abbiamo realizzato due pile in serie in grado di generare un potenziale di 1,6 volts sufficiente per far funzionare l'orologio. Qui ci si basa sul progetto originale di Volta che sfrutta due metalli di caratteristiche elettriche diverse (potenziale di estrazione differente) e un liquido in cui è sciolto del sale, detto elettrolita). Nel liquido della frutta, l'elettrolita delle nostre pile, avviene un processo di ossido-riduzione, che trasporta le cariche (elettroni ed ioni positivi) da un terminale all'altro e fornisce l'energia necessaria per mantenere il flusso di corrente per il funzionamento dell'orologio. Purtroppo il processo di ossidazione consuma l'elettrodo in zinco e nel tempo lo rende meno efficiente o addirittura lo consuma fino ad esaurirlo chiudendo il ciclo di funzionamento della pila.



Chi volesse verificare personalmente il funzionamento di una pila prenda due bastoncini, uno di rame e l'altro di zinco e tenendoli in mano in contatto e formando una V, appoggiateli sulla punta della lingua... noterete un certo "pizzicorino" che è prodotto dal passaggio della corrente nella vostra saliva che gioca da elettrolito!

Non fatelo con I bambini!!

È ACIDO?

(Pigmenti indicatori dell'acidità di una soluzione)

-) **Obiettivi:**

Mostrare come una reazione chimica può essere evidenziata da un cambiamento di colore: nello specifico, il succo ottenuto dalla buccia dei ravanelli cambia colore con gli acidi e con le basi.

-) **Apparato sperimentale:**

Ravanelli; acqua calda; aceto; succo di limone. Detersivo in polvere. Un contagocce in plastica; bicchieri di plastica; cucchiari di plastica.

-) **Conduzione dell'esperienza:**

Preparare la soluzione di indicatore naturale, mettendo le bucce di 20 ravanelli in 500 mL di acqua calda per qualche minuto e filtrando la soluzione. Mettere un po' della soluzione (almeno 1 cm dal fondo del bicchiere) in 2 bicchieri di plastica. Aggiungere qualche goccia di aceto ad uno dei due bicchieri fino ad ottenere un cambiamento di colore. Ripetere l'operazione con il succo di limone e con il detersivo, confrontando con il colore iniziale dell'indicatore.

-) **Descrizione del processo fisico:**

Il pH è la misura della concentrazione degli ioni idrogeno in una soluzione. Poiché questa concentrazione può estendersi per numerosi ordini di grandezza, si è convenuto di esprimerla per mezzo dei logaritmi in base 10. Quindi, il pH è il logaritmo della concentrazione di ioni idrogeno, cambiato di segno: $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$. Una soluzione acida contiene una elevata concentrazione di idrogenioni ed ha un valore di pH basso (tra 0 e 7). Una soluzione basica ha una bassa concentrazione di idrogenioni e un valore di pH alto (tra 7 e 14). L'acqua distillata ha $\text{pH} = 7$ (neutro). Vi sono sostanze che hanno la proprietà di cambiare colore quando vengono a contatto con un ambiente acido o basico. Queste sostanze sono chiamate indicatori di pH. Nei fiori, frutti o parti di piante di colore viola, rosso scuro o blu sono presenti pigmenti della classe delle antocianine che sono degli indicatori naturali di pH. Questi pigmenti possono essere estratti con acqua dando una soluzione che nel caso della buccia dei ravanelli è di colore rosa violetto (tipo fenolfaleina). Aggiungendo un acido la soluzione diventa di colore rosso, aggiungendo una base di colore giallo. Quindi è possibile avere una indicazione del valore di pH di una sostanza sulla base del colore della soluzione di indicatore naturale.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

In natura (piante, fiori, verdura, frutta) ci sono molte sostanze che possono cambiare colore per reazione con acidi o basi (indicatori naturali). Un indicatore naturale può essere utile per avere una indicazione del valore di pH di alcuni liquidi di uso comune.

ACQUA E OLIO: MISCELA IMPOSSIBILE?

(Emulsioni)

-) Obiettivi:

Mostrare che “il simile scioglie il simile”: acqua e olio si mescolano solo se si aggiunge il detersivo.

-) Apparato sperimentale:

Olio minerale; acqua; detersivo liquido per piatti .Bicchieri di plastica; cucchiari di plastica.

Facoltativo: coloranti alimentari per colorare l'acqua (o l'olio).

-) Condizione dell'esperienza:

Riempire per metà di acqua 2 bicchieri di plastica. Aggiungere dell'olio nei due bicchieri in modo che formi una macchia sulla superficie. Mescolare il contenuto di un bicchiere con il cucchiario e attendere. Ripetere quindi l'operazione nell'altro bicchiere dopo aver aggiunto qualche goccia di detersivo. Confrontare i due risultati.

-) Descrizione del processo fisico:

L'olio e l'acqua sono sostanze di natura diversa, che non si mescolano tra di loro. Una molecola di sapone o detergente è caratterizzata da una estremità ionica, altamente polare e da una restante parte idrocarburica e apolare. Questa struttura conferisce al sapone le sue proprietà detergenti, poiché la porzione polare è solubile in acqua, mentre quella apolare è solubile negli oli. Quando una piccola quantità di olio viene mescolata sotto agitazione con una soluzione di detersivo, si forma un'emulsione di olio in acqua: le molecole di sapone vanno a circondare le goccioline di olio poiché le loro code idrocarburiche sono solubili nell'olio. D'altra parte le teste polari delle molecole di

sapone impartiscono alle goccioline di olio una carica superficiale negativa che ne previene l'aggregazione e ne facilita la solubilizzazione in acqua.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Spiegare che l'olio e l'acqua sono sostanze di natura diversa . I detersivi sono fatti di molecole che agiscono in modo speciale, e permettono a materiali molto diversi di creare miscele altrimenti impossibili.

DIVERTIAMOCI CON LE MONETINE DI RAME

(Reazioni di ossido-riduzione)

-) Obiettivi:

Un metallo può trasformarsi per reazione chimica; una reazione chimica può essere evidenziata da un cambiamento di colore: l'ossido di rame che si forma sulla superficie delle monetine di rame viene rimosso con liquidi acidi.

-) Apparato sperimentale:

Monetine di rame vecchie (almeno 5). Aceto, sale da cucina, succo di limone, coca cola, acqua, detersivo in polvere. Bicchieri di plastica; cucchiai di plastica; carta; mollette da panni (almeno 5).
facoltativo: viti o chiodi.

-) Condizione dell'esperienza:

Mettere nei bicchieri uno strato di liquido (esempio: aceto) sufficiente a immergere mezza monetina (circa 1 cm). Immergere una monetina nel bicchiere solo per metà aiutandoti con la pinza e aspettare 5 minuti. Togli la monetina e lasciala su un pezzo di carta davanti al bicchiere usato.

Ripeti le operazioni con i vari liquidi (aceto e sale da cucina, succo di limone, coca cola, acqua e detersivo) e confronta i risultati ottenuti.

Facoltativo: nel bicchiere contenente l'aceto e il sale mettere un chiodo o una vite di acciaio e lasciarla immersa per metà per circa 10 minuti.

- **suggerimenti per l'animazione :** Si può fare osservare che: 1) Dopo circa 15 minuti, le monetine che sono state immerse nell'aceto e quindi sono state lasciate asciugare all'aria si ricoprono di verde perché si forma l'acetato di rame. Quelle immerse nella soluzione di sale e aceto, diventano di colore blu-verde perché si ricoprono sia di

acetato di rame che di cloruro di rame. 2) Se una vite o un chiodo di acciaio vengono immersi nella soluzione di aceto e sale in cui si è sciolto l'ossido di rame, si ricoprono di rame. Questa è una reazione redox. Il Cu^{2+} si riduce e si deposita sul ferro presente nell'acciaio della vite perché il ferro ha un potenziale redox negativo rispetto al rame. Quindi il ferro è un agente riducente che riduce gli ioni Cu^{2+} a Cu^0 che si deposita e il rame ossida il ferro per dare ioni ferro che passano in soluzione. Allo stesso tempo, la reazione degli ioni H^+ dell'acido produce del gas idrogeno visibile come bollicine sulla superficie della vite.

-) Descrizione del processo fisico:

Le monetine contengono rame; il rame può reagire con l'ossigeno dell'aria per dare l'ossido di rame (di colore bruno). Lo strato di ossido di rame si scioglie bene in liquidi acidi come il succo di limone, l'aceto o la coca cola, contenenti rispettivamente l'acido citrico, l'acido acetico e l'acido fosforico. Il detersivo e l'acqua invece non sono acidi e non puliscono le monetine.

Il rame delle monetine reagisce con l'ossigeno dell'aria per formare l'ossido di rame, la patina scura che le ricopre. I liquidi acidi come l'aceto, il succo di limone o la coca cola, contenenti rispettivamente l'acido acetico, l'acido citrico e l'acido fosforico, possono rimuovere l'ossido di rame presente sulla superficie. I liquidi non acidi come il detersivo non puliscono le monetine.

GONFIARE UN PALLONCINO

(Sviluppo di un gas da una reazione tra un liquido ed un solido)

-) Obiettivi:

Gonfiare un palloncino tramite il gas sviluppato da una reazione chimica: un liquido (aceto e acqua) reagisce con un solido (bicarbonato) per formare un gas (l'anidride carbonica), che viene catturato tramite un palloncino.

-) Apparato sperimentale:

1 bottiglia a collo stretto (vetro o plastica); aceto; bicarbonato di sodio.

2 imbuto di plastica; palloncino; cucchiai di plastica.

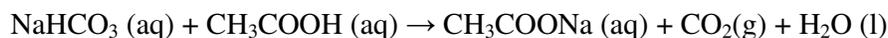
-) Conduzione dell'esperienza:

Nella bottiglia metti circa 3 cucchiai di aceto. Con l'imbuto di plastica, mettere circa 3 cucchiai di bicarbonato nel palloncino. Infilare il palloncino sul collo della bottiglia, facendo attenzione a

fissarlo bene e a non versarne il contenuto all'interno. Sollevare il palloncino e far scendere tutta la polvere dentro la bottiglia. Quando il bicarbonato scende, nel liquido si formano bolle e il palloncino si gonfia.

-) Descrizione del processo fisico:

La reazione chimica tra aceto (che contiene acido acetico, CH₃COOH) e bicarbonato di sodio (NaHCO₃) produce un gas, l'anidride carbonica (CO₂), che gonfia il palloncino:



Il gas ottenuto non è l'unico prodotto della reazione: si forma anche un sale (acetato di sodio, CH₃COONa). Infatti il liquido ottenuto non ha più un sapore aspro, come l'aceto, ma salato.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

Nei laboratori i chimici studiano le reazioni che avvengono quando si mescolano due o più sostanze tra di loro. In questo modo si possono ottenere nuove sostanze diverse da quelle di partenza.

SE CI SIETE... VI VEDO!

(Cromatografia su carta)

-) Obiettivi:

Mostrare come i componenti di una miscela possono essere separati: i coloranti presenti nell'inchiostro nero si separano per effetto dell'acqua su una strisciolina di carta da filtro.

-) Apparato sperimentale:

Un pennarello nero (inchiostro idrosolubile); filtri di carta per caffettiere all'americana; un bicchiere di plastica (o barattolo di vetro); 1 cannucia; 1 pinzetta.

Acqua.

-) Conduzione dell'esperienza:

Ritagliare una strisciolina di carta da filtro larga 3 cm e lunga 10 cm, e disegnare quindi con il pennarello nero un puntino a circa 2 cm dal bordo della strisciolina.

Mettere un po' d'acqua in un bicchierino di plastica. Collocare la strisciolina nel bicchiere facendo attenzione che il puntino nero sia comunque sopra la superficie dell'acqua. Piegare la strisciolina in alto e posizionarla su una cannuccia (mediante la pinzetta), posta sul bordo del bicchiere in modo che rimanga in posizione verticale. Man mano che l'acqua sale per capillarità la macchiolina nera si separa in almeno tre macchie allungate di colore diverso (rosso, giallo, blu).

- **note** : pennarelli di marche diverse possono dare colori diversi.

-) Descrizione del processo fisico:

In questa esperienza viene utilizzata la cromatografia su carta per separare i pigmenti colorati che compongono l'inchiostro nero. L'inchiostro dei pennarelli è una miscela di coloranti solubili in acqua: quando la strisciolina di carta viene immersa nel bicchiere, l'acqua sale per capillarità sulla carta, trasportando con sé le sostanze colorate con velocità diverse a seconda delle dimensioni della molecola e della sua solubilità.

-) Riferimenti all'esperienza quotidiana / Analogie:

La cromatografia è una tecnica molto utilizzata che serve per separare i componenti di una miscela e per purificare le sostanze: nei laboratori chimici ad esempio, spesso si devono determinare i componenti di miscele (es.: ingredienti dei profumi, sostanze inquinanti, farmaci nelle urine). Questa tecnica fu inizialmente utilizzata per separare i pigmenti colorati di piante (da cui il nome che deriva dal greco *chroma*, colore e *graphia*, scrittura). Vi sono vari tipi di cromatografia. In tutti, una fase mobile costituita da un gas o un liquido (l'acqua in questo esperimento) scorrono attraverso una fase stazionaria (la carta da filtro), trasportando i diversi componenti di una miscela con velocità diverse. In questa esperienza viene utilizzata la cromatografia su carta per separare i pigmenti colorati che compongono l'inchiostro nero. L'inchiostro dei pennarelli è una miscela di coloranti solubili in acqua: quando la strisciolina di carta viene immersa nel bicchiere, l'acqua sale per capillarità sulla carta, trasportando con sé le sostanze colorate con velocità diverse a seconda delle dimensioni della molecola e della sua solubilità.

SISTEMI COMPLESSI

TRANSIZIONE AL CAOS

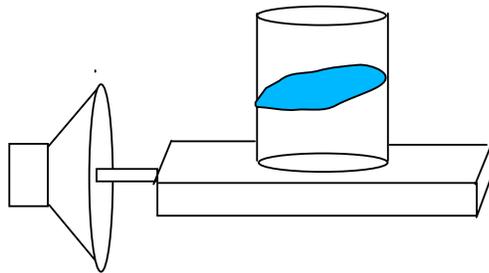
(caos deterministico)

-) Obiettivi:

Far riflettere il visitatore sul concetto di Caos

-) Apparato sperimentale:

Un cilindro parzialmente pieno di acqua è posto su una piattaforma messa in oscillazione da un altoparlante. La frequenza e l'ampiezza di oscillazione della piattaforma sono controllate da un amplificatore di potenza applicato all'altoparlante e guidato da un generatore di segnale sinusoidale. Mediante due fili paralleli sottili, immersi perpendicolarmente nel fluido, possiamo rivelare l'ampiezza delle oscillazioni della superficie dell'acqua. Infatti applicando una piccola differenza di potenziale a due capi dei fili avremo una corrente inversamente proporzionale alla resistenza che si osserva a questi capi. Con l'oscillazione della superficie varia la profondità di immersione dei fili e quindi la resistenza elettrica. La misura indiretta dell'ampiezza di oscillazione della superficie è fornita dall'inverso della quantità di corrente che scorre nei fili.



-) Conduzione dell'esperienza:

Variando l'ampiezza e la frequenza dell'oscillazione del piano, andiamo ad osservare il comportamento della superficie dell'acqua. Questa osservazione viene fatta in due modi:

- 1) - Guardando, direttamente con l'occhio, l'andamento della superficie.
- 2) - Osservando l'evoluzione temporale dell'ampiezza misurata dai fili e riportata sullo schermo di un computer.

Se si fissa un'opportuna frequenza e si varia l'ampiezza delle oscillazioni, si vede che la dinamica si complica man mano che l'ampiezza aumenta: partendo da un regime di piccole oscillazioni in cui la superficie oscilla nella direzione parallela alla forza applicata, si arriva ad un regime in cui si osservano oscillazioni della superficie dell'acqua anche nella direzione perpendicolare alla

sollecitazione; oltre una certa soglia non si riconosce alcuna periodicità nelle perturbazioni della superficie dell'acqua.

- **AVVERTENZE** : non superare una certa soglia di potenza altrimenti l'amplificatore si rompe, e attenzione che i bambini non guardino direttamente lo spot del laser.
- **suggerimenti per l'animazione** : Quale sarà il comportamento dell'acqua contenuta nel recipiente al variare dell'eccitazione? E' possibile descrivere il comportamento mediante modelli matematici che ci permettano di fare previsioni?

-) Descrizione del processo fisico:

In principio, l'oggetto che ci proponiamo di osservare ha un'infinità di gradi di libertà; basti pensare al numero di molecole d'acqua contenute nel bicchiere. Ma la ricchezza del comportamento dipenderà dalla scala di osservazione e dal grado di eccitazione che noi imponiamo al sistema.

Nelle nostre osservazioni, spesso, la complessità ci toglie ogni speranza d'interpretazione. In certi casi abbiamo solo l'illusione di una comprensione, dettata dal fatto che tale natura si comporti proprio come predice il modello matematico che abbiamo elaborato; ciò nonostante resta la capacità di *predire deterministicamente* il comportamento di un sistema complesso opportunamente modellizzato, almeno finché non si entra in un regime caotico. In tale regime, anche se le equazioni che governano i pochi gradi del sistema restano deterministiche, non si è più in grado di fare predizioni della dinamica del sistema in questione a causa della *dipendenza sensibile dai dati iniziali*.

A frequenza fissata, l'ampiezza delle oscillazioni con cui viene perturbato il semplice sistema in esame rappresenta il *parametro di controllo* al variare del quale si ha una transizione da un regime lineare (**a**), ad uno nonlineare ma predicibile (**b**), ed infine ad uno caotico (**c**):

a)- Fissata una opportuna frequenza si varia l'ampiezza fino ad avere piccole oscillazioni della superficie. L'acqua nell'insieme si comporta come un pendolo forzato e quindi la superficie oscilla nella direzione parallela alla forza applicata.

b)- Al variare dell'ampiezza della forzante si passa ad un nuovo regime che consiste in una combinazione di due oscillazioni, una parallela ed una perpendicolare alla forza applicata. Se le oscillazioni sono in fase il risultato è una oscillazione trasversale della superficie. Se le oscillazioni non sono in fase si ha una rotazione della superficie.

c) - Sopra una soglia dell'ampiezza della forzante la dinamica si complica alquanto: i comportamenti a raddoppiamento di periodo precedono un comportamento caotico.

La caoticità è caratterizzata dal fatto che una piccola variazione nelle condizioni di partenza porta ad un allontanamento drastico dei comportamenti. Questo si traduce con una impossibilità di fare

qualsiasi predizione: la pretesa di sapere il valore dell'ampiezza della oscillazione di superficie, diciamo, dopo un certo numero di oscillazioni, diventa impossibile nonostante i pochi gradi di libertà coinvolti. Questo comportamento prende il nome di Caos Deterministico per distinguerlo dal comportamento aleatorio che avrebbe un sistema caratterizzato da una infinità di gradi di libertà. In questo caso non sono rilevanti i moti delle singole molecole di fluido.

APPENDICI

LA FORZA DELLA PRESSIONE

GLI EMISFERI DI MAGDEBOURG

Otto von Guericke discendente di una agiata famiglia di Magdeburgo, studiò legge alle università di Lipsia (1617-1620), Helmstedt (1620) e Jena (1621-1622), poi frequentò corsi di matematica e cominciò ad occuparsi di problemi ingegneristici. Negli anni tra il 1646 e il 1676, tenne la carica di borgomastro di Magdeburgo e nonostante il suo tempo fosse largamente assorbito dalla vita pubblica, von Guericke continuò ad occuparsi di scienza sperimentale e ideò e realizzò - pur tra molti insuccessi - tanti esperimenti barometrici per capire a fondo il problema della pressione dell'aria.

E' nell'ambito di questi interessi che, nel 1657, von Guericke realizzò il suo più famoso esperimento. Due semisfere di bronzo di circa 50 cm. di diametro perfettamente combacianti vennero unite l'una all'altra dopo che, al loro interno, era stato prodotto il vuoto mediante una pompa pneumatica. Incredibilmente, per separare le due componenti occorreva la forza congiunta di due pariglie di 8 cavalli, che tiravano in direzioni contrapposte.

Confermò così tutte le scoperte torricelliane ed evidenziò i sorprendenti effetti della pressione atmosferica.

La versione qui esposta è costituita da due semisfere trasparenti di 40 cm di diametro, contenenti un

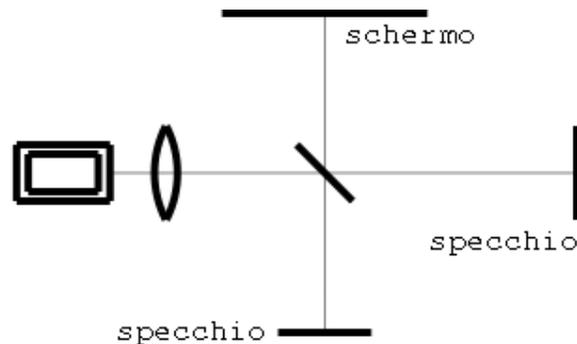


barometro ed un piccolo fornellino ad alcool. La fiamma del fornellino brucia, fino a spengersi, parte della atmosfera racchiusa tra le due sfere (l'alcool reagisce con l'ossigeno), e riduce di circa il 10% le moli di gas contenute inizialmente nella sfera. La pressione interna cala della stessa percentuale e non riesce più a bilanciare la pressione atmosferica che comprime le due semisfere l'una contro l'altra con una forza

pari alla forza peso di una massa di 120 Kg ! Questo valore si può ricavare facilmente sapendo che la pressione atmosferica produce una forza di circa un Kg peso per cm^2 e che la pressione interna è ridotta a 900 g/cm^2 . Il differenziale interno-esterno di 100 g/cm^2 applicato sulla superficie di una circonferenza massima della sfera (1200 cm^2) dà appunto approssimativamente il valore sopra indicato. E se avessimo estratta, con una pompa, tutta l'aria?.....

INTERFEROMETRO DI MICHELSON

Il funzionamento dell'interferometro di Michelson è tanto noto ai fisici, da permetterci di risparmiare sulle spiegazioni. Il modello a nostra disposizione ha bracci lunghi meno di mezzo metro, differenti fra loro di due o tre centimetri. Le frange si producono quando il raggio di luce, diviso dallo splitter in due fasci diversi, viene ricombinato sullo schermo.



Il laser, disegnato a sinistra nella figura, produce luce rossa (lunghezza d'onda di 680 nm, larghezza spettrale dell'ordine del GHz). La lente allarga il fascio collimato, dando a questo una forma conica. Le frange visibili sullo schermo hanno la forma di cerchi concentrici, distanti due o tre millimetri nella parte centrale. Per vedere la parte centrale suddetta occorre regolare gli specchi in modo che i fasci ricombinati siano ben sovrapposti. Diversamente, si osservano le frange periferiche, più fitte e con curvatura che tende a diminuire.

Per spostare le frange di una unità (chiaro-scuro-chiaro) occorre avvicinare o allontanare uno degli specchi di una lunghezza d'onda, poco più di mezzo micron, il che può essere fatto agevolmente spingendo delicatamente il supporto di ottone con un dito.

Il nostro strumento vuol riprodurre il funzionamento del grande interferometro del progetto VIRGO. A tale scopo è stata aggiunta una camera di vetro di qualità ottica sul percorso di uno dei fasci; si può mimare il passaggio di un'onda gravitazionale, usando una siringa per cambiare la pressione dell'aria dentro la camera. La variazione dell'indice di rifrazione modifica la distanza ottica dello specchio di una quantità pari a poche lunghezze d'onda.

L'indice di rifrazione dell'aria è circa $1 + 3/10000$, e varia più o meno linearmente con la densità. Si può dare un'idea della delicatezza dell'isolamento sismico necessario, dando un piccolo colpo con il piede a una delle gambe che reggono il tavolo dell'interferometro, e facendo osservare come la vibrazione confonda del tutto le frange.

LASER

L'acronimo LASER sta per Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation. Il fenomeno alla base del funzionamento dei laser è dunque l'EMISSIONE STIMOLATA di radiazione. Si tratta di un cosiddetto effetto QUANTISTICO, legato al fatto che gli atomi hanno livelli energetici discreti.

Normalmente un atomo si trova sul suo livello energetico più basso (stato fondamentale). Se riceve una radiazione luminosa può "saltare" su un livello ECCITATO (cioè ad energia più elevata). Questo è possibile solo se la frequenza ν della radiazione luminosa coincide con $(E_2 - E_1)/h$, dove h è la costante di Planck. Questo fenomeno si chiama ASSORBIMENTO della radiazione (fig.1).

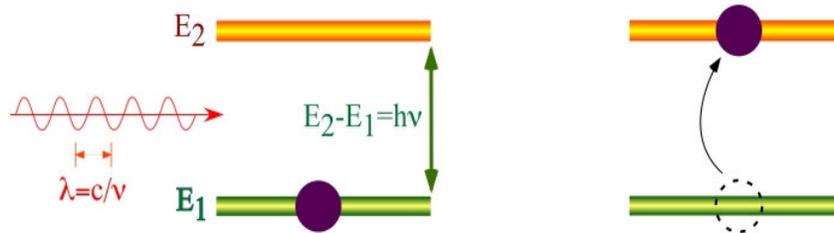


fig.1

L'assorbimento può essere seguito dal fenomeno dell'EMISSIONE SPONTANEA di radiazione (fig.2): l'atomo "decade" dal livello eccitato al livello fondamentale emettendo radiazione di frequenza $\nu = (E_2 - E_1)/h$. La radiazione luminosa viene emessa in direzione casuale.

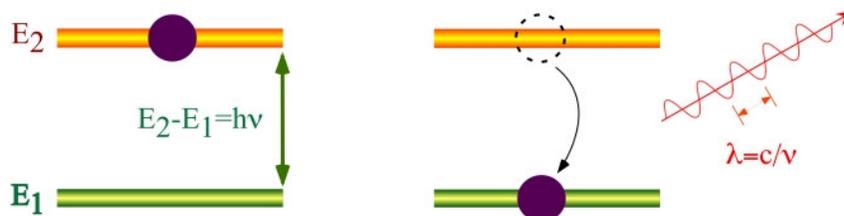


fig.2

Se però un atomo nel livello eccitato riceve radiazione luminosa di frequenza $\nu = (E_2 - E_1)/h$ può avvenire una EMISSIONE STIMOLATA di radiazione (fig.3): l'atomo decade sul livello fondamentale, emettendo radiazione con LA STESSA FREQUENZA e LA STESSA DIREZIONE

della radiazione incidente. La luce emessa dall'atomo si somma quindi alla luce incidente, che viene in tal modo AMPLIFICATA.

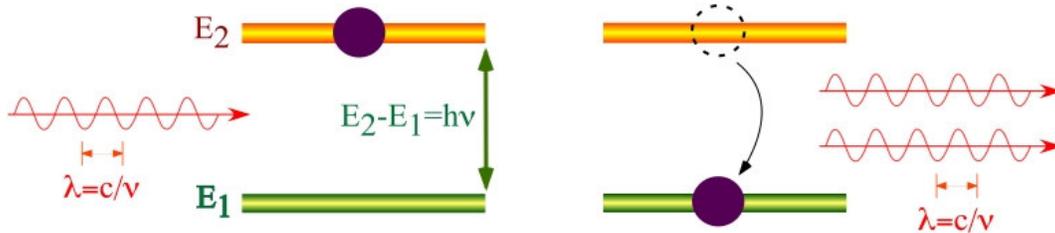


fig.3

Nei materiali in normali condizioni gli atomi si trovano generalmente sul livello fondamentale, quindi l'assorbimento è molto più frequente dell'emissione stimolata: come effetto netto la luce viene assorbita. E' però possibile preparare un MEZZO ATTIVO con la maggioranza degli atomi sul livello eccitato; in tal caso l'emissione stimolata è più frequente dell'assorbimento. Un simile materiale può amplificare radiazione luminosa di frequenza $\nu = (E_2 - E_1)/h$ invece di assorbirla.

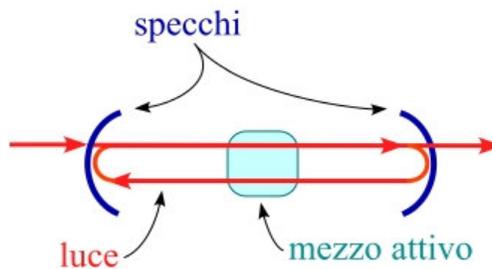


fig.4

In un laser si fa transitare più volte la luce nel mezzo attivo, in modo da ottenere un'amplificazione a valanga (fig.4). In alcuni casi la potenza luminosa così prodotta può essere così grande da tagliare i metalli. Il mezzo attivo può essere un gas come nei laser He:Ne (fig.5), un liquido come nei laser a colorante(fig.6), o un solido come nei diodi laser(fig.7).

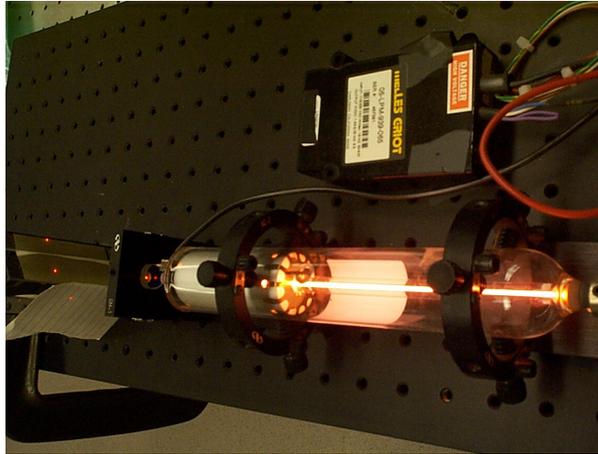


fig.5

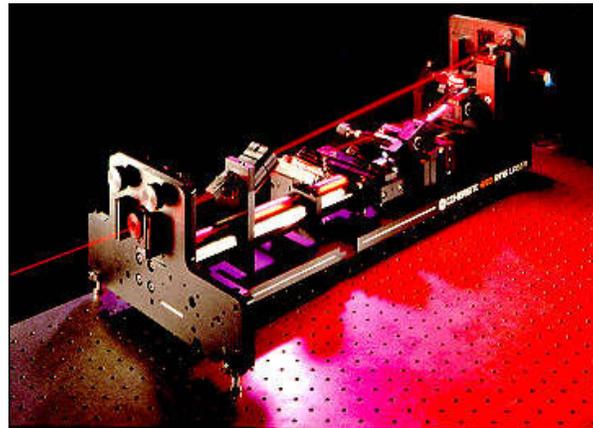


fig.6



fig.7

La luce prodotta da un laser ha caratteristiche molto diverse rispetto a quella prodotta dalle sorgenti luminose convenzionali (il sole, le lampadine, le candele). Per esempio un raggio laser è altamente

direzionale, e può percorrere lunghe distanze senza disperdersi. Inoltre la luce laser è MONOCROMATICA, cioè ha una precisa lunghezza d'onda (fig.8)

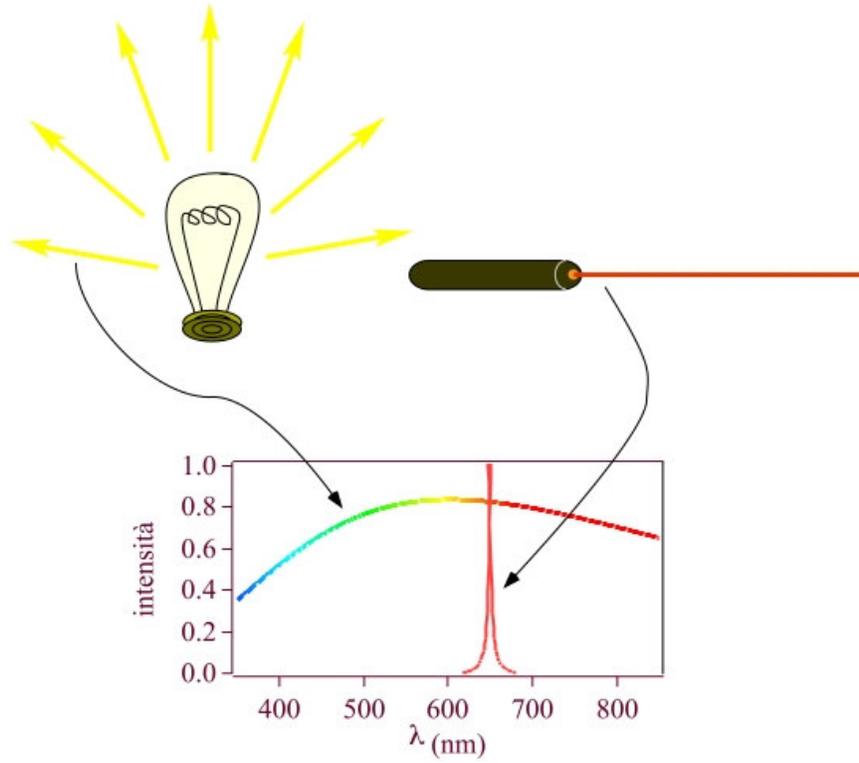
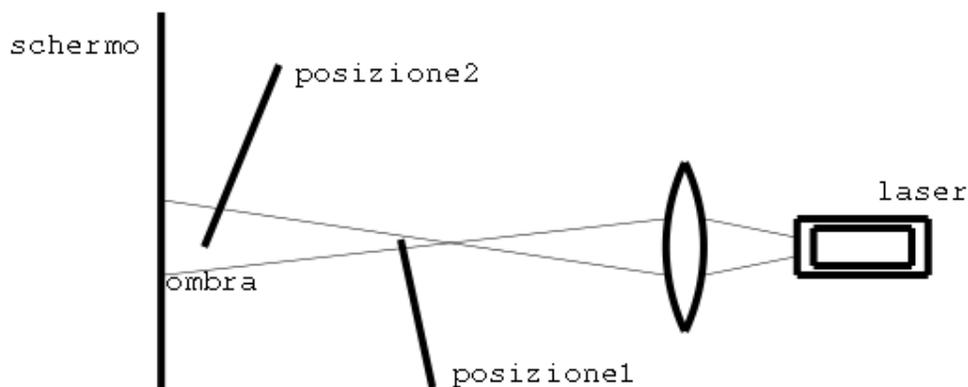


fig.8

DIFFRAZIONE DELLA LUCE ATTORNO A UN PICCOLO OGGETTO

Questo semplice esperimento serve a dimostrare la natura ondulatoria della luce, per mezzo dell'esame dell'ombra proiettata da un bastoncino (un filo d'acciaio largo mezzo millimetro) posto sul percorso di un fascio di luce.

Si vedrà che l'ombra, anziché essere una copia netta della sagoma dell'oggetto, ha bordi estesi dalla ripetizione di frange di interferenza parallele, che ricordano l'increspatura della superficie del mare quando una linea di scogli taglia una lunga onda piana.



Perché le frange siano visibili, occorre una sorgente sufficientemente monocromatica; si usa un laser a diodo.

La lente serve a focalizzare il fascio. Si fa osservare che le frange si vedono solo quando il bastoncino è nella posizione 1 (vicino al fuoco); quando, cioè, la dimensione dell'ostacolo è paragonabile alla larghezza del fascio interrotto. Nella posizione 2 l'ombra è perfettamente netta, del tutto simile all'ombra di un palo al sole.

Il laser defocalizzato non è pericoloso. In ogni modo, è meglio evitare che gli occhi dei ragazzi siano sul percorso della sorgente.

DIFFRAZIONE DI YOUNG DA UNA E DUE FENDITURE

Questo esperimento serve a dimostrare la natura ondulatoria della luce, esaminando le frange di interferenza prodotte quando un fascio di luce viene interrotto da una o due strette fenditure.

L'angolo di separazione delle frange prodotte da due fenditure è circa uguale a λ/d (λ è la lunghezza d'onda, d è la separazione delle aperture).

Per la visibilità, occorre che la larghezza a di ogni fenditura sia piccola rispetto a λ/d , se l è la distanza dello schermo.

È necessario, inoltre, che la luce sia monocromatica abbastanza da verificare $D/\lambda \ll 1/m$, dove m è l'ordine di interferenza (cioè, in questo caso, il numero della frangia che deve essere visibile). La luce solare ha $D/\lambda = 1/2$.

Nel caso di una sola fenditura, l'angolo di separazione delle frange è circa $1.22 \lambda/a$.

Come sorgente usiamo un laser a diodo. Sono disponibili due telai che portano una fenditura semplice e una doppia ($d = 0.5$ mm). La larghezza delle fenditure è uno o due decimi di millimetro. Si può far vedere che l'aspetto delle frange prodotte dai due telai è praticamente uguale, e che, quindi, la forma dell'oggetto che le produce (due fessure) viene persa.

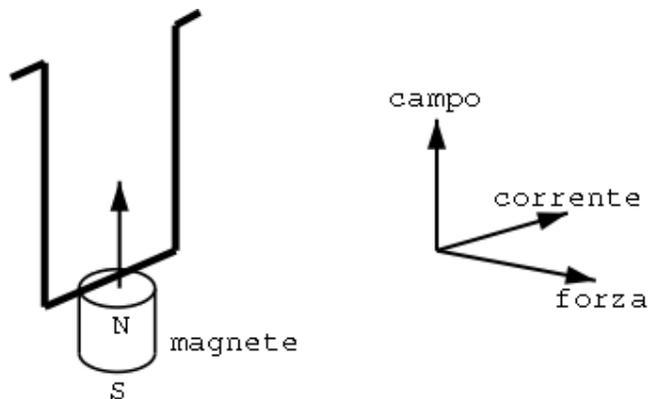
Si può far notare che la direzione in cui le frange si espandono è ortogonale al lato stretto dell'apertura e, se si vuole, si può presentare questa come prova del principio di indeterminazione (si costringe la luce a passare in una zona spazialmente limitata, perdendo la memoria della direzione originaria dell'impulso).

Il fascio del laser è debole (rispetta la classe di sicurezza necessaria all'uso che ne viene fatto), ma piuttosto collimato; occorre evitare assolutamente che venga intercettato dall'occhio, e il dispositivo non deve essere maneggiato dai ragazzi.

ILLUSTRAZIONE DELLA FORZA DI LORENTZ

Questo è un semplice esperimento per illustrare in modo immediato l'azione della forza di Lorentz, che viene esercitata da un campo magnetico su cariche in movimento (una corrente elettrica in un filo, ora).

È stato costruito un circuito con una parte mobile; quest'ultima, a forma di altalena, è sospesa e libera di oscillare a pochi millimetri da un magnete.



Le due facce del magnete corrispondono ai due poli. Il campo magnetico è rappresentato dalla freccia nella figura.

Quando si chiude il contatto su una batteria (basta un semplice tocco con l'interruttore) la parte mobile esegue un vistoso scatto in avanti.

Girando la calamita, o invertendo la batteria, si inverte la direzione della forza.

LEVITAZIONE MAGNETICA

Levitazione magnetica

Sappiamo che avvicinando tra di loro due poli di uno stesso segno di due magneti, questi si respingono.

Ingenuamente, si può pensare di riuscire a far levitare un oggetto sfruttando questa forza di repulsione. Nella pratica, si vede che non ci si riesce: le calamite tendono sempre a sfuggire, e non si riesce a creare una condizione di equilibrio. È facilmente dimostrabile infatti che *non è possibile creare una configurazione di equilibrio statico stabile tramite campi elettrici o magnetici* (teorema di Earnshaw).

Per riuscire ad ottenere la cosiddetta levitazione magnetica bisogna quindi riuscire a sfuggire ad una di queste condizioni.

La soluzione più semplice è quella di ricorrere a forze non elettromagnetiche: un esempio è costituito dalla penna levitante che si trova spesso nelle vetrine dei negozi e in molte case: qui l'equilibrio è raggiunto tramite un fermo meccanico che impedisce alla penna di sfuggire lateralmente: in questo modo però non si riesce ad impedire il contatto fisico tra l'oggetto levitante ed il supporto.

Una seconda soluzione è l'impiego di materiali perfettamente diamagnetici, come sono i superconduttori: infatti, all'interno di queste sostanze vengono generate spontaneamente per induzione delle correnti che contrastano i campi magnetici esterni: con un disco superconduttore è possibile facilmente mantenere sollevato un magnete. In questo caso si riesce a superare l'impasse data dal teorema di Earnshaw in quanto i campi non sono statici: infatti le correnti all'interno dei superconduttori variano in continuazione e si adattano ai piccoli spostamenti del magnete dalla posizione di equilibrio. Questa tecnica viene utilizzata per la realizzazione dei treni a levitazione magnetica, che riescono a correre sui binari con bassissimo attrito.

Il globo sospeso

Una terza soluzione è quella applicata nel *globo sospeso*: in questo giocattolo, il compito di annullare la forza di gravità è realizzato tramite un potente magnete posto nel supporto superiore, che attrae un analogo magnete posto in prossimità del polo nord del mappamondo. È facile rendersi conto che in questo modo la posizione di equilibrio risulta però instabile, in quanto basta avvicinare il globo verso l'alto perché prevalga la forza di attrazione, facendolo spostare ulteriormente verso l'alto, mentre un piccolo spostamento verso il basso fa prevalere la forza di gravità, facendolo cadere al suolo.

La stabilità viene ottenuta quindi tramite un sistema di controllo posizionato in prossimità del polo sud: lì infatti si trova un sensore di campo magnetico che individua la posizione del magnetino posto in prossimità del polo sud, ed una bobina azionata da un amplificatore integrato: il sensore individua gli spostamenti del globo dalla posizione di equilibrio, ed invia alla bobina una corrente di direzione ed intensità tale da contrastarne i movimenti: quindi, se il globo tende a cadere sotto la forza di gravità, la bobina produrrà una corrente tale da riportarlo in alto, mentre se prevale la forza magnetica la bobina genererà una forza attrattiva che lo riporterà giù.

Anche in questo caso, l'equilibrio viene raggiunto in modo dinamico, tramite campi magnetici variabili nel tempo.

La trottola sospesa

La quarta soluzione è di gran lunga la più bella, elegante ed affascinante: si tratta di realizzare la levitazione tramite campi magnetici statici, ma mettendo in movimento l'oggetto da far levitare.

Cerchiamo di capire perché funziona: se proviamo a mantenere la trottola ferma sospesa sul magnete, non ci riusciamo, perché sotto l'effetto dei campi magnetici la trottola dapprima si capovolge, in modo da avere i poli rovesciati, e viene così attratta dal magnete che si trova nella base.

Noi però sappiamo che una delle caratteristiche dei corpi rotanti è quella di mantenere il più possibile invariata la direzione dell'asse di rotazione.

Se mettiamo quindi in rotazione la trottola, questa tenderà a rimanere dritta, e non si capovolgerà sotto l'azione dei magneti della base.

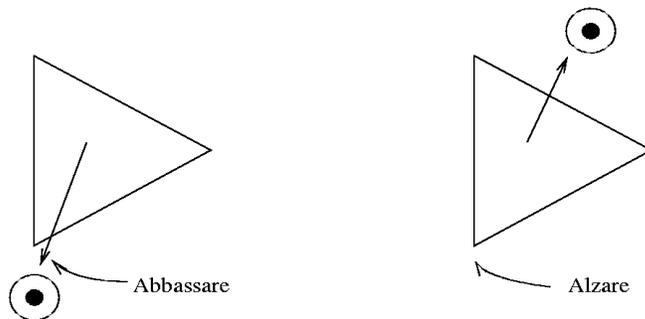
In questo modo si riesce ad ottenere la levitazione, finché la trottola rimane in rotazione veloce. A causa dei bassissimi attriti, sarà possibile mantenere questa configurazione per alcuni minuti, finché la trottola non cade sulla base.

È molto importante, perché la levitazione risulti stabile, regolare sia il peso della trottola che l'inclinazione della base.

Il peso deve essere il massimo che consenta alla trottola di levitare: infatti, più la trottola è leggera, meno stabile risulta la sua posizione di equilibrio.

L'inclinazione della base deve essere tale da mantenere il campo magnetico perfettamente allineato col campo gravitazionale (il che NON vuol dire che la base deve essere perfettamente orizzontale: se questa condizione non è soddisfatta, la trottola sfugge orizzontalmente).

Per trovare la giusta inclinazione, basta seguire la semplice ricetta di alzare la parte della base verso la quale la trottola tende a sfuggire, o abbassare la parte opposta. Si consiglia di effettuare correzioni minime, in quanto l'equilibrio è delicato da raggiungere.



POLAROID

Alcune idee di base

Le onde elettromagnetiche e la polarizzazione

Le equazioni di Maxwell nel vuoto in assenza di sorgenti ammettono soluzioni non nulle che prendono il nome di onde elettromagnetiche. Una delle proprietà fondamentali delle onde elettromagnetiche è il loro carattere *trasversale*: in ogni punto dello spazio e ad ogni istante i vettori \mathbf{E} e \mathbf{B} (rispettivamente il campo elettrico e quello magnetico) sono ortogonali alla direzione di propagazione dell'onda \mathbf{n} ; essi sono inoltre mutuamente perpendicolari per cui la terna $(\mathbf{E}, \mathbf{B}, \mathbf{n})$ costituisce ovunque una terna ortogonale.

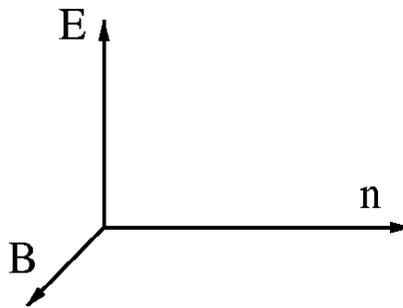


Figura 1: Campo elettrico, campo magnetico e direzione di propagazione formano ovunque una terna ortogonale.

Si definisce generalmente il vettore di polarizzazione di un'onda elettromagnetica come la direzione in cui oscilla il campo elettrico; nel caso più semplice, in cui la direzione di \mathbf{E} rimanga invariata nel tempo, si dice che l'onda è *polarizzata linearmente* (esistono ovviamente stati di polarizzazione più complessi, ma tutto ciò non è rilevante per la discussione che segue). Per quanto detto finora è chiaro che, data la direzione di propagazione dell'onda (o vettore d'onda) \mathbf{n} , possono esistere solamente due stati di polarizzazione

Sistemi contenenti due o più polaroid

Questo è, più o meno, ciò che si può fare con un polaroid; con due o tre la situazione diventa più interessante: vediamo alcune situazioni tipiche.

1. Due polaroid con assi ottici paralleli.

La radiazione uscente dal primo è polarizzata parallelamente all'asse ottico del secondo e viene completamente trasmessa. L'intensità in uscita è:

$$I_{tr} = \frac{1}{2} I_0 \cos^2(0) = \frac{1}{2} I_0 \quad (4)$$

Come dire che il secondo polarizzatore è del tutto ininfluenza (o meglio: lo sarebbe se fosse ideale...)

2. Due polaroid con assi ottici ortogonali.

La radiazione uscente dal primo è polarizzata ortogonalmente all'asse ottico del secondo e viene completamente assorbita. L'intensità in uscita è:

$$I_{tr} = \frac{1}{2} I_0 \cos^2(\pi/2) = 0 \quad (5)$$

Cioè il sistema è, nel suo complesso, opaco.

3. Due polaroid con assi ottici orientati a piacimento.

La generalizzazione è immediata; indicando con θ l'angolo compreso tra i due assi ottici, l'intensità in uscita si scrive come:

$$I_{tr} = \frac{1}{2} I_0 \cos^2(\theta) \quad (6)$$

Cioè partendo da $\theta = 0$ e ruotando i polaroid uno rispetto all'altro si osserva una progressiva diminuzione della radiazione trasmessa fino alla sua scomparsa (per $\theta = \pi/2$).

4. Tre polaroid con assi ottici orientati rispettivamente a 0 , $\pi/4$ e $\pi/2$.

Poiché l'unica cosa rilevante è l'angolo compreso tra gli assi ottici di due polaroid successivi, l'intensità in uscita è data da:

$$I_{tr} = \frac{1}{2} I_0 \cos^2(\pi/4) \cos^2(\pi/2 - \pi/4) = \frac{1}{8} I_0 \quad (7)$$

La cosa è piuttosto curiosa se pensiamo che si passa dalla situazione 2 alla 4 semplicemente inserendo un polaroid opportunamente orientato tra i due già presenti; come dire: non vedo la sorgente, inserisco un ulteriore oggetto in mezzo (anziché rimuovere qualcosa) e vedo di nuovo...

Naturalmente utilizzare un polaroid non é l'unico modo per ottenere luce polarizzata; la radiazione emessa dai cristalli liquidi dei display che siamo ormai abituati a vedere sulla maggior parte dei dispositivi elettronici è di per se polarizzata, e questa caratteristica si può facilmente mettere in evidenza osservando (e magari ruotando) lo schermo di un telefono cellulare attraverso un polarizzatore...

La birifrangenza

Per concludere, un rapido accenno al fenomeno della birifrangenza. Esistono dei materiali capaci di *distinguere* lo stato di polarizzazione della luce che vi incide; il caso degli stessi polaroid è forse l'esempio più *drammatico*, ma d'altra parte non é affatto sorprendente che in un materiale *anisotropo* (cioè caratterizzato da una o piu' direzioni privilegiate) la luce polarizzata in una certa direzione si propaghi in modo diverso dalla luce polarizzata nella direzione ortogonale. Per essere più precisi, i materiali birifrangenti presentano indici di rifrazione diversi per radiazione polarizzata in direzioni diverse e questo si traduce in diversi coefficienti di assorbimento. Come dire, tanto per fare un esempio, che la luce polarizzata lungo x è assorbita *di più* della luce polarizzata lungo y ; é chiaro che, in questa situazione, la radiazione in uscita può risultare parzialmente polarizzata anche se quella in ingresso non lo era. L'effetto dipende chiaramente dallo spessore di materiale attraversato e dalla frequenza (cioè dal colore) della luce incidente - data la dipendenza dalla frequenza stessa dell'indice di rifrazione. Questo è il motivo per cui degli strati di nastro birifrangente, visti attraverso due polaroid, appaiono così colorati!

Conessioni con la ricerca e la vita quotidiana

I filtri polaroid per la fotografia

Sarà capitato a tutti di osservare, guidando in un'assolata giornata estiva, i fastidiosi riflessi della luce solare in una pozzanghera (in effetti se la giornata è proprio assoluta non vedo perchè dovrebbe esserci tanta acqua in giro, comunque facciamo che ha appena smesso di piovere...); ed il motivo è che, per certi versi, la superficie dell'acqua *assomiglia* ad uno specchio, nel senso che è caratterizzata da un coefficiente di riflessione molto alto. Quel che non tutti sanno, probabilmente, è che la luce riflessa è in generale polarizzata linearmente.

Il fenomeno fisico che sta alla base della riflessione di un raggio luminoso

è l'interazione tra la luce stessa e le cariche elettriche contenute nella materia ordinaria (prevalentemente gli elettroni, che hanno una massa di gran lunga inferiore agli altri costituenti - protoni e neutroni - e si accoppiano più fortemente alla radiazione). Per dirla con altre parole, si tratta sostanzialmente di uno *scattering* fotone - elettrone (quello che nel limite di basse energie si indica solitamente con il nome di scattering Thomson). Lo scattering Thomson è un fenomeno *polarizzante*, nel senso che, anche se il fascio incidente è non polarizzato, la radiazione diffusa è in una certa misura polarizzata linearmente nella direzione ortogonale al piano di scattering. Più precisamente il grado di polarizzazione lineare in funzione dell'angolo di scattering θ è dato da:

$$P_L(\theta) = \frac{1 - \cos^2\theta}{1 + \cos^2\theta} \quad (8)$$

Vale a dire che la radiazione diffusa in avanti rimane non polarizzata, mentre quella scatterata a 90° è polarizzata linearmente al 100% (il che non dovrebbe stupire più di tanto, se pensiamo al modellino classico della diffusione della luce come emissione di radiazione da una carica accelerata, oscillante nel campo dell'onda incidente: l'intensità emessa nella direzione dell'asse del dipolo è identicamente nulla!)

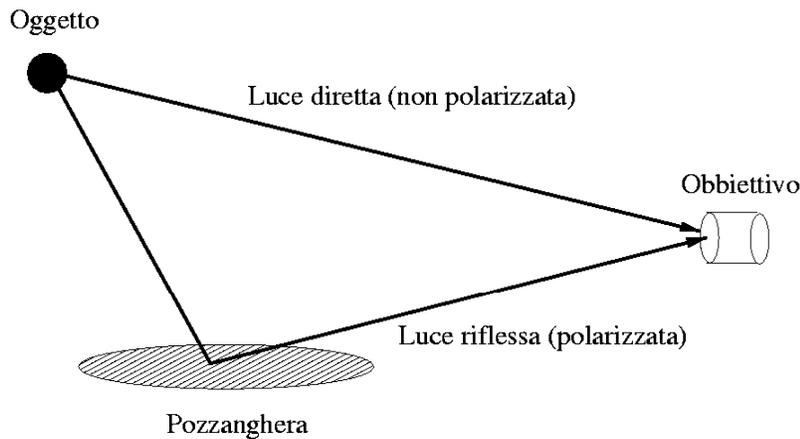


Figura 2: I raggi riflessi da una pozzanghera sono in generale linearmente polarizzati ed un polaroid davanti all'obiettivo può aiutare ad eliminare l'inconveniente.

Torniamo allora alla nostra macchina fotografica, davanti alla nostra bella pozzanghera, e supponiamo di voler inquadrare un determinato oggetto. La luce che arriva all'obiettivo sarà in parte diretta ed in parte riflessa dalla pozzanghera stessa; la prima componente è, come sappiamo, non polarizzata,

mentre per la seconda possiamo pensare che il grado di polarizzazione (se l'angolo di scattering è prossimo ai 90°) non sia molto lontano dall'unità. Se adesso mettiamo davanti all'obiettivo un polaroid con l'asse ottico orientato parallelamente alla direzione di polarizzazione della radiazione scatterata il risultato è che la componente scatterata viene assorbita totalmente, mentre quella diretta solo per metà. Come dire che, rinunciando alla metà della luce diretta (ma è un prezzo che si può compensare aumentando il tempo di esposizione) abbiamo eliminato totalmente il riflesso fastidioso!

Polarimetria ed astrofisica

La polarimetria costituisce una delle tecniche osservative di routine della moderna astrofisica. Questo perchè la misura delle caratteristiche di polarizzazione della radiazione elettromagnetica fornisce indicazioni preziose circa i meccanismi fisici di emissione della radiazione stessa. Il segreto è sempre lo stesso: in tutti i sistemi che irradiano e che sono caratterizzati da una direzione privilegiata (ad esempio la direzione di un eventuale campo magnetico oppure l'asse di un disco di accrescimento attorno ad una sorgente) possiamo aspettarci che la radiazione uscente sia polarizzata; la misura della polarizzazione ci dà informazioni su questa direzione - che è come dire sul campo magnetico o sul disco di accrescimento.

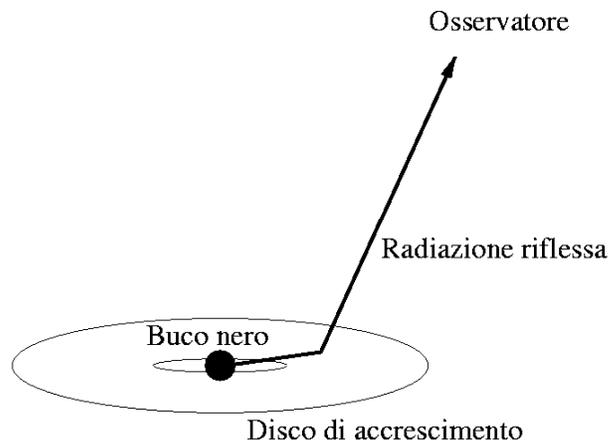


Figura 3: La radiazione X riflessa da un disco di accrescimento attorno ad un oggetto compatto dovrebbe essere, proprio come la luce riflessa da una pozzanghera, polarizzata. La misura di questa polarizzazione potrebbe fornire informazioni importanti sulla struttura del disco.

In astronomia ottica (e, più di recente, in radioastronomia) la polarimetria

si è rivelata estremamente proficua, grazie al continuo sviluppo di strumenti sempre più sofisticati ed efficienti. Negli ultimi trent'anni, poi, i satelliti hanno permesso di estendere a dismisura la porzione dello spettro elettromagnetico accessibile agli astronomi portando alla nascita dell'astrofisica X e gamma (a causa dell'atmosfera la luce visibile e le onde radio sono tutto ciò che si può osservare da terra). La polarimetria X e gamma vivono oggi il periodo della loro *infanzia*, ma sono già pianificate missioni che nel prossimo futuro avranno come obbiettivi oggetti *esotici* come pulsar binarie o residui di supernovae. Ed i teorici hanno tutte le ragioni per immaginare che in un certo senso un buco nero circondato da un disco di accrescimento non sia troppo diverso da una pozzanghera in cui la luce del sole si riflette...

APPROFONDIMENTI DI ACUSTICA

La fisica, il suono e la musica.

I legami tra la musica e la fisica sono strettissimi ed affascinanti: basta pensare come ogni strumento musicale sia in se un piccolo laboratorio in cui fenomeni meccanici ed idrodinamici o anche elettromagnetici convergono alla produzione di vibrazione, che poi si propagano nell'aria sotto forma di suono dalle caratteristiche ben definite.

Per iniziare a parlare dei legami tra musica e fisica, proviamo a pensare a cosa succede quando pizzichiamo la corda di una chitarra: la corda viene dapprima spostata dalla posizione di equilibrio, e poi una volta lasciata a se' stessa comincia a vibrare su e giu', o avanti e indietro (a seconda di come viene pizzicata), compiendo tipicamente qualche centinaio di oscillazioni in un secondo. Il numero di oscillazioni compiute da un oggetto vibrante in un secondo si chiama frequenza, e si misura in Hertz, simbolo Hz: 1 Hz corrisponde ad una oscillazione al secondo. Le vibrazioni della corda si trasmettono all'aria, e attraverso questa giungono all'orecchio, che le percepisce come "suono".

La prima cosa che possiamo notare e' che pizzicando la corda in modo piu' violento, l'ampiezza delle oscillazioni aumenta, e corrispondentemente l'orecchio percepisce un aumento dell'intensita' sonora. Con il passare del tempo, l'ampiezza delle oscillazioni, e conseguentemente l'intensita' del suono, diminuisce: questo fenomeno e' dovuto al fatto che l'energia fornita alla corda quando la si pizzica viene pian piano rilasciata all'aria circostante sotto forma di energia sonora.

Un'altra prova che possiamo fare e' verificare come tendendo la corda, o accorciandola, le vibrazioni si fanno piu' rapide: quindi il numero delle oscillazioni (la frequenza) del suono aumenta. L'orecchio percepisce questo aumento della frequenza come un aumento dell'"altezza" del suono, ovvero come uno spostamento verso note piu' alte nella scala musicale: dal do si passa al re, poi al mi, etc....

In questo modo abbiamo realizzato un collegamento tra due parametri percettivi ("intensita'" e "altezza") con due parametri fisici ("ampiezza" e "frequenza").

Per effettuare una teoria dei suoni, possiamo quindi cominciare a definire un "tono puro" come un suono che possiede una frequenza di oscillazione ed una ampiezza ben definite e costanti nel tempo.¹

Un suono piu' complesso si potra' in seguito analizzare come la combinazione di diversi "toni puri" che vengono quindi a costituire gli elementi base per una teoria della acustica.

Un "tono puro" riprodotto tramite altoparlante risulta pero' estremamente sgradevole all'orecchio, fisso (a causa dell'ampiezza e frequenza costante) e freddo (a causa dell'assenza di altri toni in assonanza o dissonanza). Manca insomma del terzo parametro essenziale per determinare il suono, che e' il "timbro".

Torniamo per un momento a considerare la chitarra: le corde infatti non sono tese in aria, ma su di una grossa cassa di legno molto duro ed elastico. Quando la corda vibra, vibra anche il legno che forma la cassa, e l'aria in essa contenuta.

Quindi il suono prodotto risulta in realta' la combinazione di piu' vibrazioni, ciascuna con la sua frequenza: l'intensita' di ciascuna delle componenti del suono determina quello che viene comunemente individuato col termine "timbro": il timbro e' quell'insieme di caratteristiche che distinguono i suoni prodotti da strumenti diversi, a parita' di altezza e intensita'.

In fisica e' possibile effettuare la decomposizione di un suono complesso nei toni puri che lo costituiscono: il grafico che ne risulta mostra l'ampiezza del singolo tono in funzione della sua frequenza. Un grafico di questo tipo si chiama "spettro".

Un esempio di spettro e' mostrato in figura (da preparare):

¹Matematicamente un suono di questo tipo viene descritto mediante la formula: $x = A \sin 2\pi ft$, dove x e' la grandezza soggetta ad oscillazione (ad esempio, la pressione dell'aria in un punto, o la posizione di un tratto della corda vibrante).

La fisica non interviene solamente nella produzione del suono, ma anche nella sua propagazione nell'aria, e nella percezione da parte dell'ascoltatore: nelle esperienze proposte ci siamo tuttavia limitati ad esplorare solamente il primo aspetto.

La cassa di risonanza.

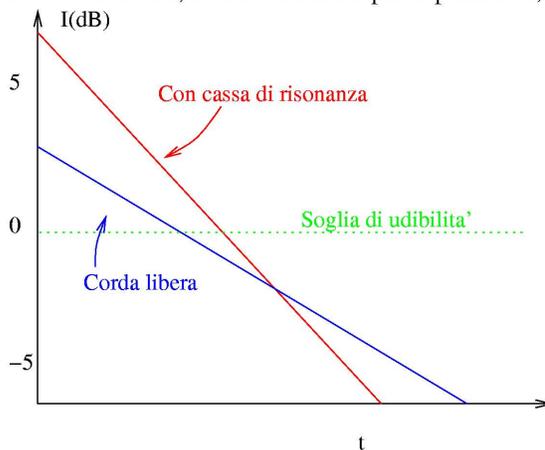
In quasi tutti gli strumenti a corda, ma anche in molti strumenti a fiato o a percussione, le corde sono montate su una scatola, tipicamente di legno, vuota, con uno o più fori, dalle forme più svariate, detta cassa di risonanza.

Si crede normalmente che il compito della cassa di risonanza sia quello di amplificare il suono prodotto dalle corde: il meccanismo che porta a questo risultato risulta però spesso oscuro. Quello che fa la cassa di risonanza in realtà è di trasferire il moto vibratorio della corda ad una grande massa d'aria, aumentando la quantità di energia vibrazionale che viene tramutata in energia sonora.

Per compiere questa funzione, il materiale che costituisce la cassa deve essere leggero per poter essere messo in movimento facilmente, ed elastico, in modo da evitare di dissipare l'energia tramite frizione interna: sono questi i motivi che portano all'uso di un legno molto secco.

Aumentando il trasferimento di energia dalla corda all'aria, ovviamente il suono si smorza più rapidamente. Tuttavia, l'impressione soggettiva è quella di un suono che dura più a lungo: questo è dovuto al fatto che, essendo il suono più intenso, rimane più a lungo al di sopra della soglia minima di udibilità (si veda ad esempio la figura 1).

Figura 1: Andamento dell'intensità del suono prodotto da una corda libera o accoppiata ad una cassa di risonanza. Nel secondo caso, il suono si smorza più rapidamente, ma rimane più a lungo sopra la soglia di udibilità'.



Il modo in cui la cassa amplifica il suono varia con la frequenza: è possibile tracciare un grafico del fattore di amplificazione in funzione della frequenza del suono: questo grafico prende il nome di "funzione di trasferimento" o "funzione di risonanza" della cassa.

La forma di questa funzione determina la "voce" dello strumento, e differenzia uno strumento dall'altro.

Si noti che in corrispondenza di certe frequenze, dette frequenze di risonanza o frequenze proprie, la funzione di trasferimento risulta particolarmente grande: queste frequenze sono le stesse a cui la cassa di risonanza oscilla

quando viene percossa. Quando la cassa viene sollecitata dalla corda ad oscillare a quelle frequenze, le vibrazioni risultano particolarmente forti ed il suono risulta molto amplificato.

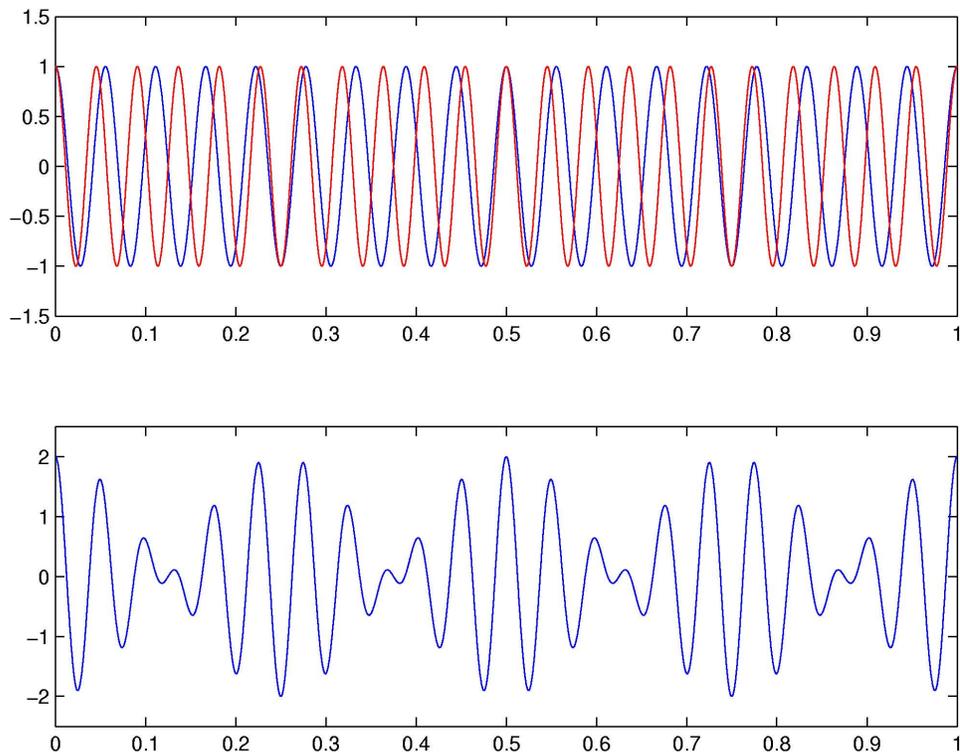
I battimenti

Si considerino due oscillazioni, di frequenza leggermente differente e di eguale ampiezza: supponiamo che queste onde si sommino in qualche modo.

Come si vede in figura 2, ci sono degli istanti in cui le oscillazioni si rafforzano, mentre degli istanti in cui si cancellano. Il risultato e' che la somma delle due oscillazioni si presenta come un'unica oscillazione di ampiezza variabile.

L'orecchio percepisce quindi un'unica nota di frequenza intermedia tra le due, variabile in intensita'. La frequenza con cui l'ampiezza varia e' pari alla differenza tra le frequenze dei due suoni che interferiscono: queste oscillazioni in ampiezza vengono indicate col nome di battimenti.

Figura 2: Principio di funzionamento dei battimenti: nella figura in alto si vede come in alcuni punti le oscillazioni si sommano, mentre in altri si sottraggono. Il risultato della sovrapposizione e' visibile nella figura in basso.



2

E' possibile ascoltare i battimenti producendo due suoni di frequenza leggermente diversa: ad esempio, scordando leggermente uno dei due diapason appesantendo uno dei rebbi. In questo modo la frequenza di oscillazione risulta chiaramente piu' bassa (il diapason si muove piu' lentamente), e l'effetto e' tanto piu' marcato quando piu' il peso viene posto in alto.

Ovviamente, non e' possibile ottenere nella pratica oscillazioni di ampiezza esattamente uguale: ma e' possibile dimostrare che anche in presenza di oscillazioni di ampiezza diversa i battimenti sono presenti, anche se sono meno evidenti.

I battimenti sono ascoltabili anche su di una chitarra, suonando la stessa nota su due corde diverse: quando le due corde sono leggermente scordate, il suono sembra oscillare in intensita'. Questo fenomeno viene correntemente adoperato dai musicisti per accordare i propri strumenti.

La corda vibrante

La corda vibrante e' il primo strumento storicamente utilizzato nell'analisi dei suoni: si dice che il primo ad interessarsi delle sue proprieta' sia stato Pitagora, che se ne servi' per teorizzare la scala musicale. Sta alla base di strumenti importantissimi come il violino e tutta la famiglia degli archi, la chitarra, l'arpa, il pianoforte, etc, e in tanti altri strumenti presenti nelle musiche non occidentali.

Nella schematizzazione abituale, una corda vibrante e' una corda di materiale omogeneo, di spessore uniforme ma trascurabile, bloccata a due estremi e sottoposta ad una tensione uniforme per tutta la sua lunghezza. Si suppone che quando la corda viene spostata dalla sua posizione di equilibrio la forza di richiamo che pone la corda in oscillazione sia dovuta esclusivamente alla tensione applicata alla fune, e non alle forze elastiche interne; si suppone infine di poter trascurare la perdita di energia per riscaldamento interno che si ha in presenza di deformazioni, la perdita di energia dovuta all'attrito dell'aria, le vibrazioni del supporto che si supporra' infinitamente rigido.

²La dimostrazione matematica procede come segue: un'oscillazione di frequenza f si scrive nella forma:

$$x = A \cos(2\pi ft)$$

La somma di due oscillazioni della stessa ampiezza e frequenza diversa sara' allora:

$$x = A \cos(2\pi f_1 t) + A \cos(2\pi f_2 t)$$

applicando le formule di prostaferesi si ha:

$$x = 2A \cos \left[2\pi \frac{(f_1 - f_2)}{2} t \right] \cos \left[2\pi \frac{(f_1 + f_2)}{2} t \right] = A(t) \cos \left[2\pi \frac{(f_1 + f_2)}{2} t \right]$$

dove $A(t) = 2A \cos \left[2\pi \frac{(f_1 - f_2)}{2} t \right]$.

quindi si vede come la somma delle due oscillazioni risulti uguale ad una singola oscillazione di frequenza intermedia tra f_1 ed f_2 la cui ampiezza varia con frequenza pari alla semidifferenza tra le due frequenze.

Bisogna notare pero' che, nel caso si tratti di oscillazioni sonore, l'intensita' percepita e' proporzionale al quadrato della ampiezza, per cui:

$$I(t) \propto A(t)^2 = 4A^2 \cos^2 \left[2\pi \frac{(f_1 - f_2)}{2} t \right] = 2A^2 \{1 - \cos [2\pi (f_1 - f_2) t]\}$$

Quindi l'intensita' sembra oscillare con frequenza pari alla differenza tra f_1 ed f_2 : queste variazioni di intensita' vengono dette battimenti.

In queste condizioni semplificate, il comportamento della corda e' ricavabile esattamente dalle equazioni del moto: si sa infatti che la corda posta in movimento e successivamente lasciata libera di oscillare esegue un moto composto da diverse oscillazioni di frequenza differente, detti "modi" di oscillazione.

E' possibile ordinare in sequenza i "modi" di oscillazione, tramite un numero n che vale 1,2,3..... etc. Il numero n si dice "ordine" del modo.

3

Inoltre, ad un tempo fissato (immaginando quindi di effettuare una fotografia della corda) la corda assume la forma di un'onda sinusoidale, il cui periodo diminuisce al crescere dell'ordine del modo n .

In figura (da inserire) viene esemplificata la situazione.

Il moto reale della corda risulta comunque una combinazione di queste semplici oscillazioni, e quindi notevolmente piu' complicato.

Nella corda reale, da noi costruita in laboratorio, ovviamente nessuna delle condizioni ideali e' perfettamente rispettata: in particolare, la frequenza fondamentale risultera' leggermente diversa da quella data dalla formula precedente, e le frequenze di oscillazione dei modi superiori non risulteranno esattamente multipli della frequenza fondamentale. Tuttavia, questa differenza sara' cosi' piccola da non poter essere rivelata dagli strumenti a nostra disposizione. Piu' importante sara' invece l'effetto dell'interazione con l'aria, che e' il meccanismo stesso che produce il suono: infatti il moto della corda provoca lo spostamento dell'aria nelle sue vicinanze; questo spostamento si propaga nello spazio sotto forma di onde sonore. La corda perdera' dunque energia, che verra' trasferita nell'aria sotto forma di energia sonora: come conseguenza, il moto della corda diminuira' di ampiezza fino a diventare praticamente nullo. Si parla, in casi come questo, di "oscillazioni smorzate".

Il suono prodotto dalla corda presenta le stesse caratteristiche dei suoi modi di oscillazione: si tratta di una miscela di toni semplici di frequenza pari ai multipli della frequenza fondamentale. Le frequenze successive alla fondamentale si dicono armoniche: la frequenza $2f$ si dice seconda armonica, la frequenza $3f$ terza armonica, etc⁴.

Con la corda vibrante in mostra si possono effettuare una serie di esperimenti molto semplici: si puo' verificare ad esempio che aumentando il peso bisogna allungare la corda per riottenere la stessa nota, e che l'allungamento e' proporzionale alla radice quadrata della tensione della corda.

e' possibile anche verificare come corde piu' pesanti producono suoni piu' gravi, come si puo' fare utilizzando ad esempio corde di chitarra di diverso spessore.

³Detto il linguaggio matematico piu' preciso, dato un punto della corda di lunghezza L che si trova a distanza x da un estremo, e detto y lo spostamento di quel punto dalla posizione di equilibrio, il "modo" di oscillazione e' descritto da una formula del tipo:

$$y_n = \sin\left(\frac{2\pi nx}{2L}\right) \sin(2\pi nft)$$

Oververossia, ogni punto della corda descrive un moto armonico semplice la cui frequenza e' multipla di una frequenza f detta frequenza fondamentale: la frequenza fondamentale dipende dal peso della corda, dalla sua lunghezza e dalla sua tensione secondo la formula:

$$f = \sqrt{\frac{T}{\rho}} \frac{1}{2L}$$

dove ρ e' la cosiddetta densita' lineare della corda, ovvero il peso (in Kg) di un metro di corda, e T e' la tensione applicata (in Newton).

⁴Un sinonimo di armonica e' "parziale". Di solito, il termine armonica si utilizza quando le frequenze superiori alla fondamentale sono multipli interi di questa (costituiscono appunto una serie armonica). Il termine parziale invece e' piu' generale, ed e' applicabile anche al caso in cui le frequenze superiori siano dei multipli irrazionali della frequenza fondamentale, come nel caso del tamburo o in generale di tutte le membrane vibranti.

Un esperimento interessante, che ricorda quelli effettuati da Pitagora, si puo' effettuare disponendo di due corde dello stesso peso tese allo stesso modo: si puo' osservare allora come se la lunghezza di una corda e' doppia rispetto all'altra le due corde emettono la stessa nota, ma ad una ottava di distanza. Se le lunghezze stanno nel rapporto 3:2 allora le due note formeranno un intervallo di quinta (do-sol) mentre se stanno nel rapporto 4:3 formeranno un intervallo di quarta (do-fa), etc.

Lo spettrogramma

Lo spettrogramma e' uno strumento fondamentale nell'analisi di segnali sonori o di altro tipo. Si tratta di un grafico bidimensionale in cui in orizzontale viene riportato il tempo e in verticale la frequenza: il computer esegue di volta in volta una analisi del suono che arriva al microfono, isolando ogni frequenza e calcolandone l'intensita'; viene quindi tracciato in corrispondenza di ogni valore della frequenza un puntino il cui colore corrisponde all'intensita' corrispondente: si va dal blu per le basse intensita', al verde, al giallo ed infine al rosso per le intensita' piu' alte.

Vediamo qualche esempio: la figura (da preparare) mostra lo spettrogramma di una nota emessa da un diapason: si vede che si tratta di un tono puro, di frequenza costante e di ampiezza lentissimamente decrescente.

Al contrario, il rumore ottenuto battendo le mani ha durata breve, e contiene tutte le frequenze: infatti non ha una altezza definita(figura 3).

La figura 4 mostra lo spettrogramma del suono di un corista, che e' un fischietto ad ancia (l'ancia e' una lamina di metallo che viene posta in vibrazione dal fiato), accordato a 440 Hz ed utilizzato per accordare gli strumenti a chitarra: si vede come il suono risulta composto da una serie di armoniche equispaziate in frequenza di intensita' costante (nei limiti delle capacita' polmonari del suonatore....).

In figura 5 viene invece mostrato il suono di una corda di chitarra: anche stavolta le armoniche sono ben visibili, ma l'ampiezza decresce lentamente man mano che il suono si smorza.

Il suono di un campanello viene mostrato in figura 6: stavolta si ha un transiente in cui tutte le frequenze sono presenti, corrispondente all'istante in cui il battaglio tocca il campanello; successivamente, si notano alcune parziali non armoniche, che pero' si smorzano rapidamente tranne una, che viene identificata dall'orecchio come la nota suonata dal campanello.

Il tamburello presenta caratteristiche simili, ma il suono e' di durata molto piu' breve (figura 6).

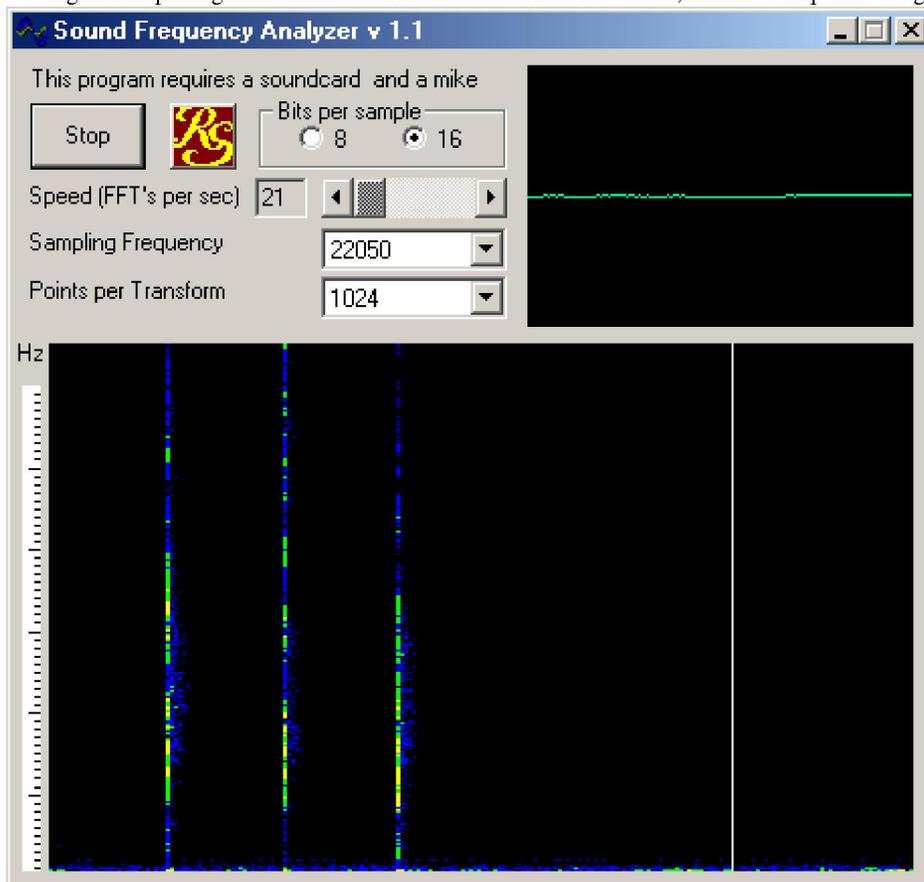
Una scala, eseguita su un flauto a becco, dal do al do superiore, ci fa capire perche' la "scala" si chiama cosi' :-> (vedi figura 8).

Infine la voce umana: la figura 9 mostra nell'ordinele vocali i, è, é, a, ó, ò, u: per ciascuna di esse si notano la fondamentale e le armoniche. Si nota pure che le armoniche si rafforzano in una zona corrispondente a qualche migliaio di Hz: questa e' la cosiddetta "zona delle formanti". La presenza delle formanti (che sono quindi armoniche di alta frequenza) consente di riconoscere le vocali tra di loro: si nota infatti come ognuna di esse presenti una sua struttura differente dalle altre.

Il tamburello.

Come la corda nella chitarra, cosi' nel caso del tamburello la membrana puo' vibrare in diversi "modi", ciascuno dei quali oscilla ad una sua frequenza propria.

Figura 3: Spettrogramma del battito delle mani: il suono e' breve, e tutte le frequenze vengono prodotte.

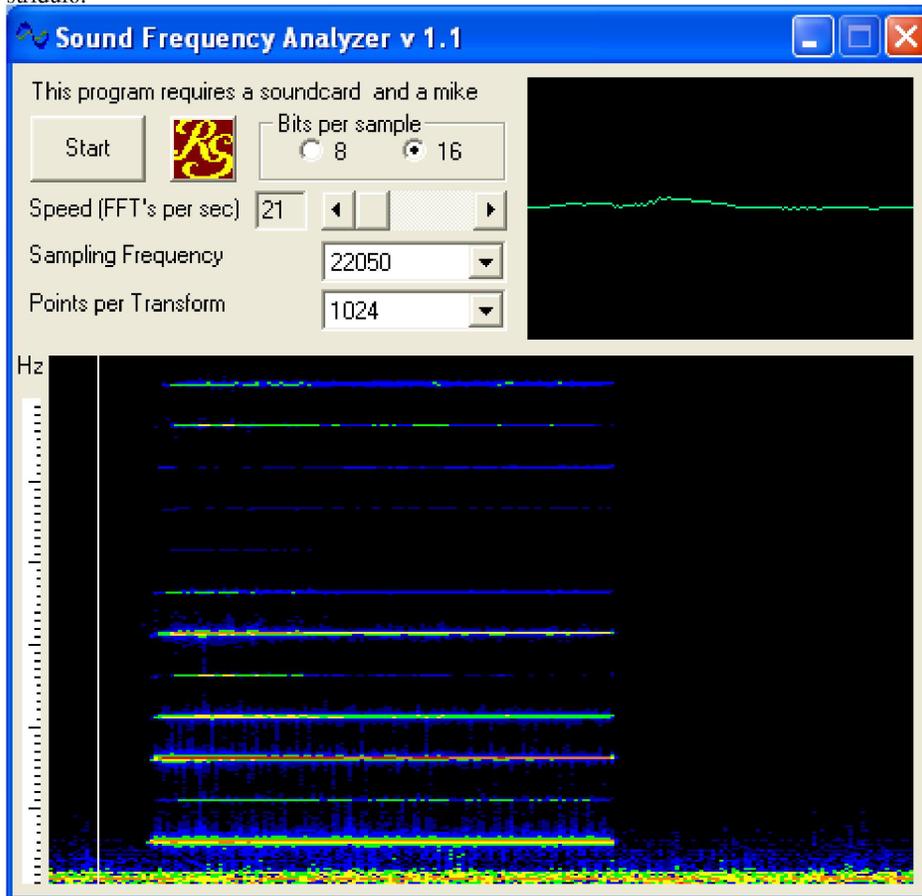


Per ogni modo di vibrazione, esistono delle linee, dette linee nodali, formati da punti nei quali la membrana non vibra: queste linee, nel caso di una membrana circolare, corrispondono a cerchi concentrici o a diametri. Ogni modo e' classificabile in base al numero di cerchi e di diametri nodali; si veda ad esempio la figura (da preparare)

Quando si percuote il tamburello in un punto, la membrana oscilla in piu' modi: in particolare, percuotendo il tamburo al centro, i modi che vibrano di piu' sono quelli che posseggono solo cerchi nodali: sono quelli che corrispondono alla prima colonna di figura (la stessa di prima, da preparare) Percuotendo il tamburello nei bordi, la membrana vibra invece con modi, e quindi frequenze, diverse: e' possibile quindi entro certi limiti decidere quale nota suonare scegliendo con cura in punto di percussione della membrana, come sanno benissimo i suonatori di bongo.

Supponiamo adesso di porre in vibrazione la membrana non con un colpo singolo, ma tramite una vibrazione, ad esempio con un altoparlante cui viene inviata un suono puro di frequenza data. Quando la frequenza di oscillazione coincide con quella propria di uno dei diversi modi di vibrazione, allora il movimento della membrana diventa particolarmente violento: si dice in termine tecnico che si produce un fenomeno di risonanza.

Figura 4: Suono di un corista: il fatto che la terza armonica sia piu' forte della seconda rende il suono leggermente stridulo.



In queste condizioni, e' possibile visualizzare le linee nodali cospargendo di polvere fine la membrana: infatti dove questa oscilla, la polvere salta via, mentre dove l'oscillazione e' ridotta la polvere rimane ferma.

Le configurazioni ottenute si chiamano immagini di Chadlani: ad esempio, nelle foto di figura 10 si possono vedere quelle ottenute sollecitando la membrana con le frequenze di 526, 537, 732 ed 809 Hz, corrispondenti ai modi di oscillazione (0,2), (2,1), (3,1) e (1,2).

Figura 5: Spettrogramma del suono prodotto da una una corda di chitarra

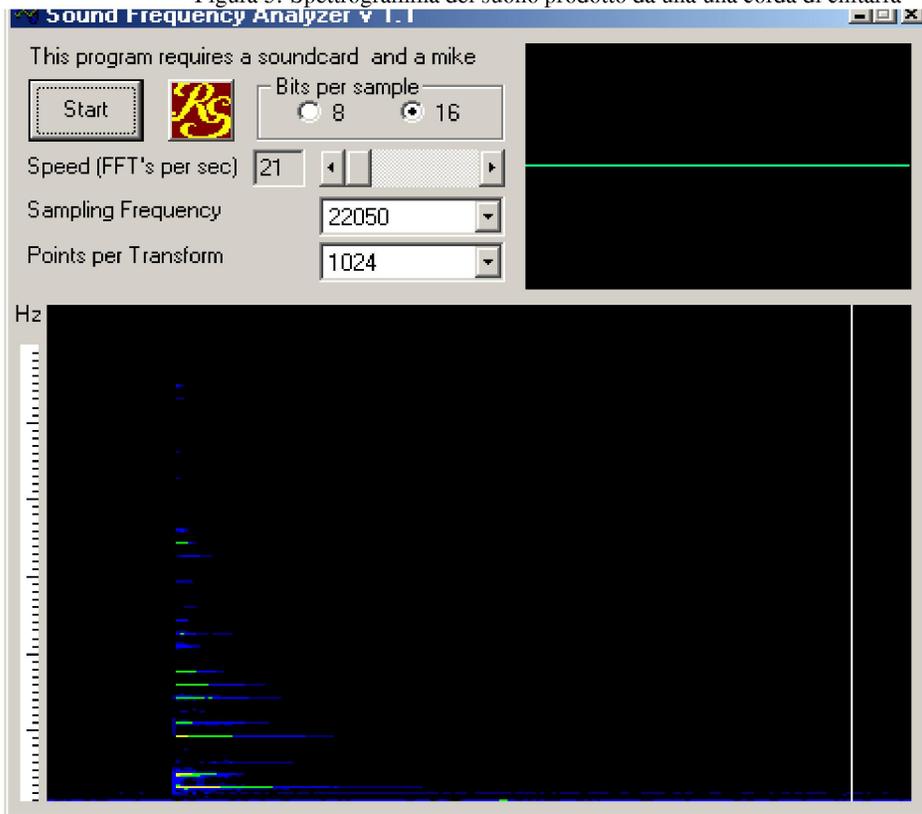


Figura 6: Suono di un campanello: si vede come risulta composto da pochi toni puri, uno dei quali, quello a frequenza piu' bassa, si smorza molto lentamente.

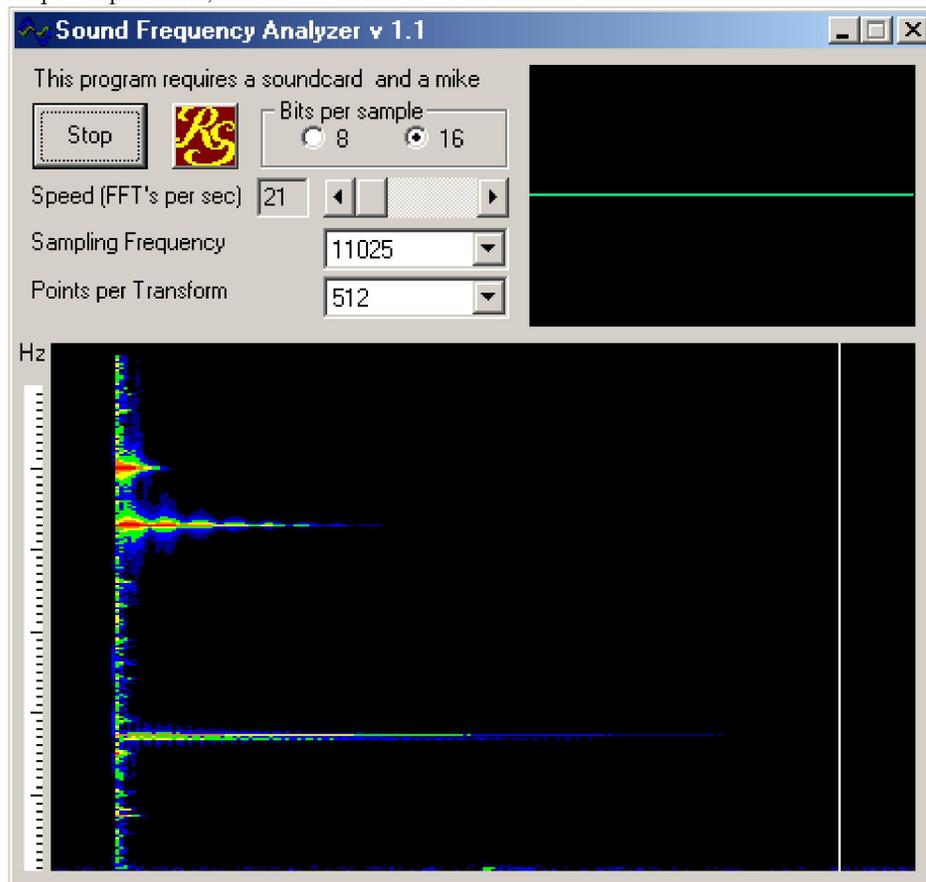


Figura 7: Suono di un tamburello: le caratteristiche sono simili a quelle del campanello, ma la durata e' molto breve.

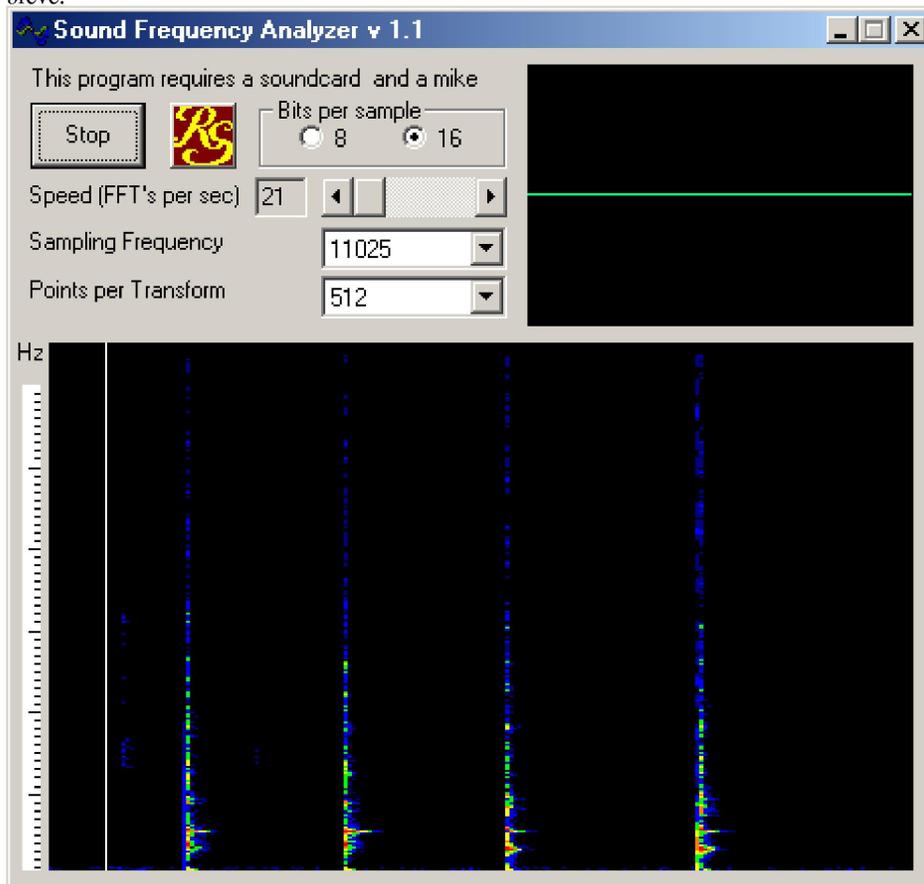


Figura 8: La scala musicale da do a do, eseguita su un flato dolce.

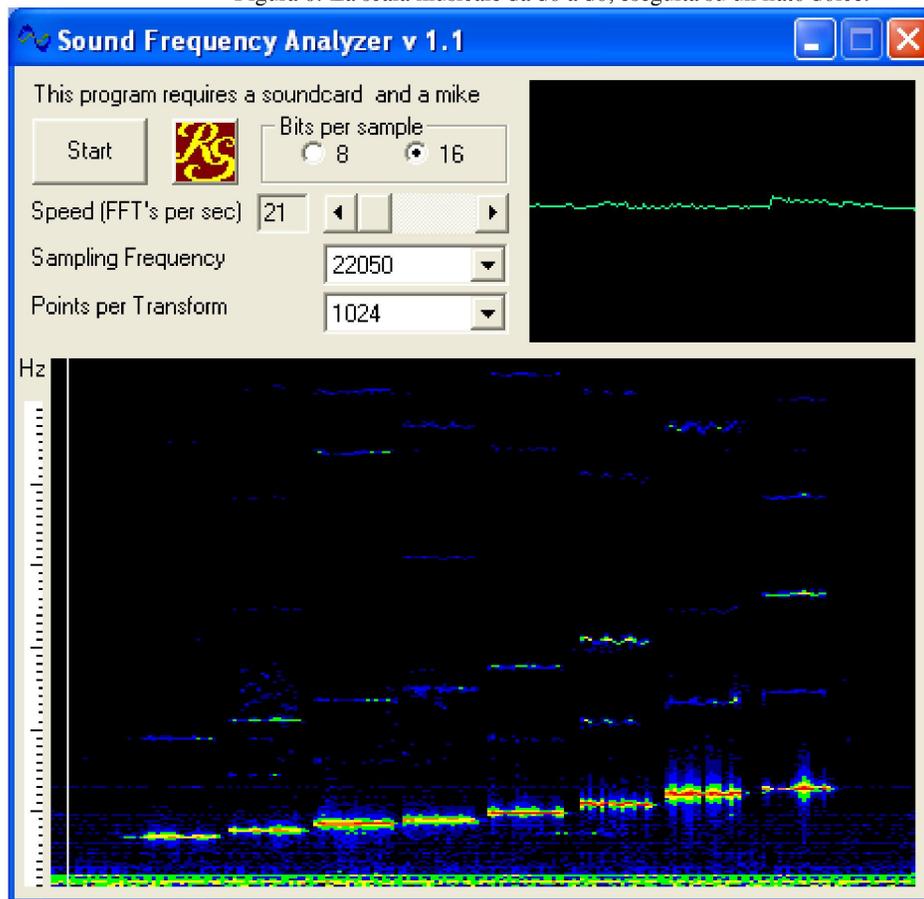


Figura 9: Le vocali nell'ordine i, è, é, a, ó, ò, u pronunciate intonando la stessa nota. Si possono osservare le armoniche superiori, e la regione delle formanti.

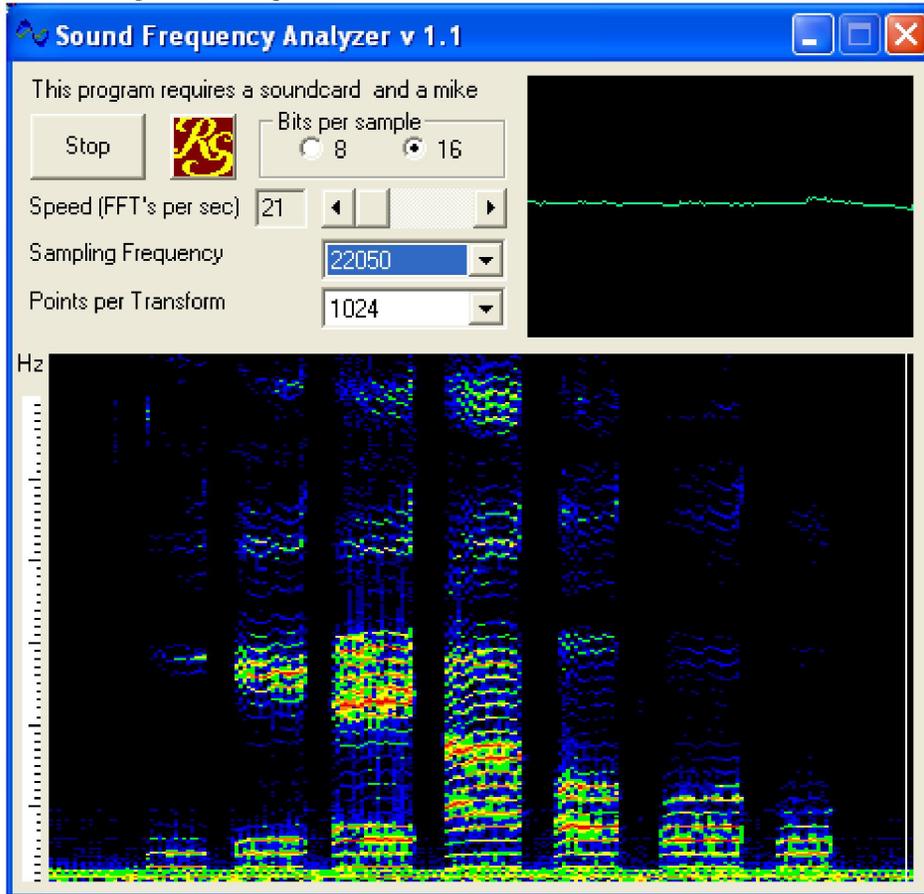


Figura 10: Figure di Chadlni ottenute con un tamburello fatto vibrare alle frequenza di 526, 537, 732 ed 809 Hz rispettivamente. Si riconoscono i modi (0,2), (2,1), (3,1) e (1,2).

