



Nella prima giornata del "Dialogo sui massimi sistemi" Galileo contrasta l'idea che la superficie della Luna sia riflettente (*tersa*) come uno specchio, affermando che in quel caso la Luna dovrebbe apparire scura e non chiara. Dice Salviati:

Conforme è sicuramente la Luna alla Terra nella figura, la quale indubitabilmente è sferica, come di necessità si conclude dal vedersi il suo disco perfettamente circolare (...) Secondariamente, ella è, come la Terra, per se stessa oscura ed opaca, per la quale opacità è atta a ricevere ed a ripercuotere il lume del Sole, il che, quando ella non fusse tale, far non potrebbe.

(...)

Noi cerchiamo, signor Simplicio, se per fare una riflessione di lume simile a quello che ci vien dalla Luna, sia necessario che la superficie da cui vien la riflessione sia così tersa e liscia come di uno specchio, o pur sia più accomodata una superficie non tersa e non liscia, ma aspra e mal pulita. Ora, quando a noi venisser due riflessioni, una più lucida e l'altra meno, da due superficie opposteci, io vi domando, qual delle due superficie voi credete che si rappresentasse a gli occhi nostri più chiara e qual più oscura...

Si ipotizzi dunque che la superficie della Luna sia di forma perfettamente sferica e riflettente come uno specchio; in fase di plenilunio – cioè quando Sole, Terra e Luna sono approssimativamente allineati in questo ordine – guardando la Luna si vedrebbe l'immagine virtuale del Sole, prodotta da uno specchio sferico.

1. Quale sarebbe, in questa situazione, il diametro angolare dell'immagine (virtuale) del Sole prodotta dalla Luna, per un osservatore terrestre?
2. Stimando che porzione di superficie lunare apparirebbe luminosa, vista da Terra al momento del plenilunio, come vedrebbe la Luna un osservatore terrestre?

La scala delle *magnitudini stellari* – storicamente legata alla prima classificazione fatta da Tolomeo – è una funzione logaritmica del flusso luminoso raccolto dal rivelatore; più precisamente

$$m(\Phi) = m_0 - 2.5 \log_{10}(\Phi/\Phi_0)$$

dove m_0 è la magnitudine di riferimento di una stella il cui flusso luminoso sia Φ_0 ; notare che quanto più un oggetto è luminoso tanto minore è la magnitudine che può assumere quindi anche valori negativi; notare anche che la differenza tra le magnitudini di due oggetti è legata al rapporto inverso dei rispettivi flussi luminosi. Così mentre Vega (α Lyrae) ha magnitudine circa 0, la stella più luminosa dopo il Sole (Sirio, α Canis minoris) ha magnitudine -1.45 , Venere può arrivare a magnitudine -4.9 e il Sole ha magnitudine (*integrata**) -26.74 .

3. Calcolare la magnitudine integrata della Luna sempre nell'ipotesi che la sua superficie fosse perfettamente sferica e riflettente, trattando l'immagine virtuale del Sole come una sorgente che emette la stessa quantità di luce in ogni direzione (cioè *isotropa*).

In realtà la magnitudine integrata della Luna è maggiore di quella trovata sopra perché la luce viene in parte assorbita. Nel caso della Luna occorre anche tenere presente che la superficie non diffonde la luce solare in modo uniforme (isotropo) cosicché al plenilunio la superficie appare circa 6 volte più luminosa della media.

In astronomia si chiama *albedo* di un corpo opaco (pianeta, satellite, asteroide...), la frazione di luce incidente che non viene assorbita dalla superficie. Se poi l'assorbimento nel visibile è indipendente dalla lunghezza d'onda,

* Per le sorgenti estese la magnitudine *integrata* è quella che avrebbe una sorgente puntiforme che emettesse la stessa quantità di luce.

come grosso modo accade per la Luna, una superficie illuminata dal Sole appare bianca quando il suo albedo è uguale a uno, di colore grigio chiaro, medio, scuro, al decrescere dell'albedo, fino al nero quando l'albedo è pari a zero.

4. Nelle ipotesi dette, sapendo che la magnitudine integrata della Luna al plenilunio è uguale a -12.7, se ne stimi l'albedo e si dica di che colore è la superficie lunare.

DATI: Distanza Terra-Luna $D = 384000$ km, pari a circa $1/400$ della distanza Terra-Sole; diametro angolare apparente del Sole e della Luna visti da Terra (sono circa uguali): $\varepsilon \approx 0^\circ 32'$.

PROBLEMA n. 2 – Fasci colorati

50 Punti

Un fascio di luce perfettamente collimato e del diametro di 1.00 mm incide con angolo di incidenza $i = 50^\circ 0'$ dall'aria su una lastra piana di vetro di spessore $t = 100$ mm, e subisce una rifrazione per cui nel vetro si propaga con angolo di rifrazione r . L'indice di rifrazione n del vetro dipende dalla lunghezza d'onda λ della radiazione nel vuoto secondo la relazione $n = a + b/\lambda^2$, dove a e b sono costanti.

L'indice di rifrazione dell'aria si può porre uguale a 1.

Se il fascio di luce proviene da un laser ad argon di lunghezza d'onda nel vuoto 546.1 nm, si osserva che l'indice di rifrazione del vetro vale 1.480, mentre usando un laser a semiconduttore con lunghezza d'onda nel vuoto 689.4 nm, l'indice di rifrazione del vetro risulta 1.452.

1. Nel caso del laser ad argon, calcolare la lunghezza d'onda, la velocità di propagazione e la frequenza della radiazione nel vetro.

Si utilizza poi, al posto dei laser, un fascio di luce bianca con le stesse caratteristiche geometriche ma di lunghezza d'onda nel vuoto compresa fra 400 e 750 nm. La radiazione subisce allora una dispersione, e dopo aver attraversato lo spessore della lastra emerge in un'area di forma allungata.

2. Trovare l'indice di rifrazione del vetro ai due estremi, rosso e violetto, della radiazione bianca.
3. Calcolare la distanza tra i punti centrali in cui – dopo la lastra – emergono la luce rossa e quella violetta; quanto è la dimensione massima dell'area allungata che riceve luce sulla superficie posteriore della lastra di vetro?

Un osservatore – **accertatosi di non correre rischi (*)** – vuol esaminare la propagazione della luce ponendo la pupilla di un occhio esattamente sull'asse (a) del fascio riflesso dalla prima superficie; (b) del fascio trasmesso dalla lastra; (c) del fascio che riemerge dalla lastra dallo stesso lato della sorgente, dopo essersi riflesso sulla seconda superficie della lastra.

4. Dire che cosa vede l'osservatore in ciascuno dei tre casi.
5. Negli stessi tre casi, dire se, mantenendo sempre la pupilla dell'occhio al centro esatto dei fasci, si nota qualche variazione di colore a seconda che la pupilla sia adattata a poca luce (diametro, circa 6 mm) oppure a molta luce (diametro, circa 2 mm). Si giustificino le risposte nei singoli casi.

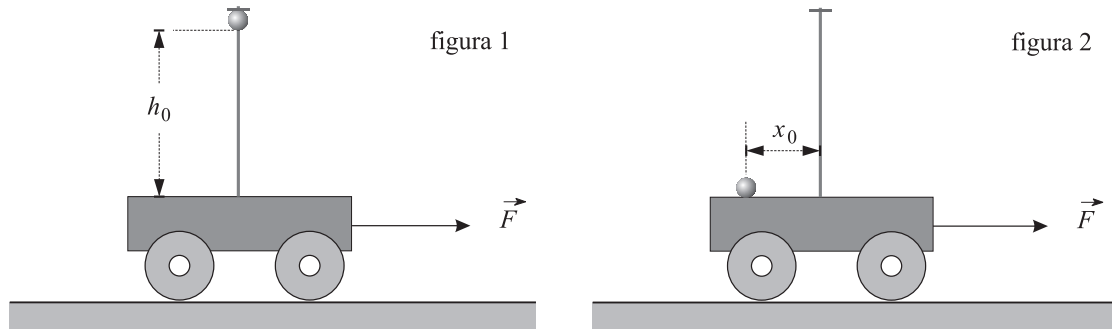
Dato numerico: per la velocità della luce nel vuoto si utilizzi il valore più accurato: $c = 2.997 \times 10^8$ m s⁻¹.

(*) ATTENZIONE: MAI GUARDARE IN QUESTO MODO IL FASCIO DI UN LASER (ANCHE DI UN PICCOLO PUNTATORE) NE' QUELLO DI UNA LUCE INTENSA!

PROBLEMA n. 3 – Il volo della pallina

75 Punti

Su un piano orizzontale, un carrello (mostrato in figura 1) si muove con attrito trascurabile verso destra, sotto l'azione di una forza costante \vec{F} orizzontale, di modulo non noto. Sul carrello c'è un'asta verticale su cui è montata un'elettrocalamita che sorregge una pallina di acciaio. La massa delle ruote è trascurabile.



L'elettrocalamita può essere azionata a distanza con un telecomando e dunque la pallina può esser fatta cadere a piacimento. In un certo istante del moto, si aziona il telecomando e si osserva la pallina cadere ad una distanza x_0 dal piede dell'asta (vedi figura 2).

Sono note:

- la distanza tra la pallina e il carrello (vedi fig. 1): $h_0 = 25.0 \text{ cm}$;
- la massa del carrello: $M = 200.0 \text{ g}$;
- la massa della pallina: $m = 40.0 \text{ g}$;
- $x_0 = 10.0 \text{ cm}$.

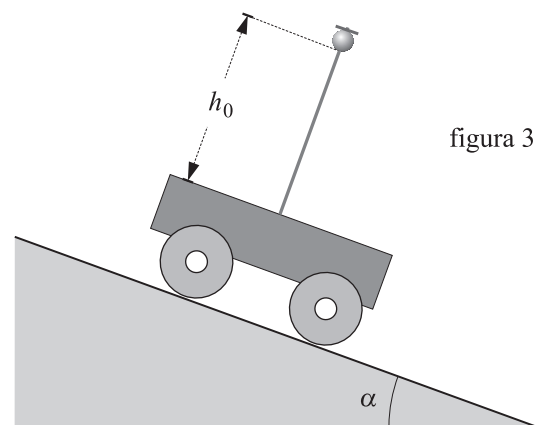
1. Da questi dati determinare il valore numerico dell'accelerazione del carrello prima (a) e dopo (a') il rilascio della pallina.

La velocità del carrello al momento del rilascio della pallina sia $v_0 = 1.50 \text{ m s}^{-1}$.

2. Sapendo che l'urto della pallina sul carrello è completamente anelastico, e che dura 5 ms , determinare la velocità del carrello al termine dell'urto.

L'esperimento viene ripetuto (figura 3) eliminando la forza esterna ed inclinando il tavolo di un angolo α rispetto all'orizzontale, tale che il sistema carrello+pallina, a causa della gravità, senta una forza \vec{F}' parallela al piano, di modulo uguale alla forza \vec{F} . Il dispositivo di rilascio lascia cadere la pallina nell'istante in cui il carrello inizia a muoversi.

3. Dire se – ed eventualmente come – cambia il punto in cui la pallina cade sul piano del carrello.
4. Determinare la velocità del carrello subito dopo l'impatto con la pallina, supponendo che anche in questo caso l'urto duri 5 ms .



PROBLEMA n. 4 – Atomo di Litio... alla Thomson

100 Punti

Gli studi sulla struttura della materia svolti nell'ultima parte dell'Ottocento mostravano che un atomo contiene un certo numero Z di elettroni pari, circa, alla metà del suo peso atomico A . Essendo elettricamente neutro, inoltre, un atomo deve contenere delle cariche positive in numero uguale alle cariche negative. Dai valori di densità tipici dei solidi, dal peso atomico e conoscendo il numero di Avogadro, si poteva stimare la dimensione del raggio atomico.

A cavallo tra otto e novecento, il dibattito sulla struttura atomica era centrato sulla questione della distribuzione delle cariche elettriche in un atomo. J. J. Thomson propose un modello dell'atomo in cui gli elettroni, puntiformi e carichi negativamente, sono localizzati all'interno di una distribuzione continua di carica positiva avente forma sferica di raggio pari al raggio atomico. A causa della loro mutua repulsione, gli elettroni si distribuiscono all'interno dell'atomo in posizioni diverse. Nello stato fondamentale gli elettroni sono fermi nella loro posizione di equilibrio.

Le previsioni di questo modello hanno trovato conferma solo in un limitato insieme di fatti sperimentali, tuttavia il valore storico ed esemplificativo del modello lo rende abbastanza interessante da essere trattato in un problema di elettrostatica.

Secondo il modello di Thomson, un atomo di litio ha 3 elettroni immersi in una sfera omogenea di carica avente carica totale uguale a quelli, ma di segno opposto, in modo che l'atomo sia neutro.

1. La densità del litio è $\rho = 0.53 \text{ g cm}^{-3}$, la massa di una mole di litio è $M = 6.941 \text{ g}$. Una stima ragionevole delle dimensioni dell'atomo di litio si ottiene considerando che ogni atomo ha a disposizione lo spazio di una celletta cubica il cui spigolo dà il diametro della sfera carica. Supposto questo, stimare il raggio R di un atomo di litio.
2. Ricavare l'andamento del campo elettrico e del potenziale di una distribuzione sferica di carica positiva, di valore totale $3e$ e raggio R , in tutti i punti dello spazio. Valutarne il valore a distanza $r = R$ e tracciare i grafici del modulo del campo e del potenziale in funzione della distanza r dal centro della sfera.
3. Calcolare, secondo il modello di Thomson, a che distanza dal centro della distribuzione positiva si trovano gli elettroni del litio nei due stati di equilibrio possibili e quando l'atomo è ionizzato una volta. Per effettuare i calcoli si assuma che il raggio R della distribuzione omogenea di carica sia lo stesso per l'atomo neutro e per lo ione.
4. Determinare quanta energia è stata fornita all'atomo di litio per ionizzarlo una volta a partire dallo stato con gli elettroni equidistanti tra loro (configurazione di energia totale più bassa).

Nota: si consideri che, per formare la sfera di carica positiva, è stata spesa un'energia nota, U_0 il cui valore numerico, se serve, si calcola utilizzando la relazione $U_0 = \frac{27 e^2}{20 \pi \epsilon_0 R}$.

Materiali prodotti dal Gruppo

**PROGETTO OLIMPIADI**

Segreteria Olimpiadi Italiane della Fisica

presso Liceo Scientifico "U. Morin"

VENEZIA MESTRE

fax: 041.584.1272

e-mail: olifis@libero.it

ALCUNE COSTANTI FISICHE (*)

COSTANTE	SIMBOLO	VALORE	UNITÀ
Velocità della luce nel vuoto	c	3.00×10^8	m s^{-1}
Carica elementare	e	1.602×10^{-19}	C
Massa dell'elettrone	m_e	9.11×10^{-31}	kg
		5.11×10^2	$\text{keV } c^{-2}$
Costante dielettrica del vuoto	ε_0	8.85×10^{-12}	F m^{-1}
Permeabilità magnetica del vuoto	μ_0	1.257×10^{-6}	H m^{-1}
Massa del protone	m_p	1.673×10^{-27}	kg
		9.38×10^2	$\text{MeV } c^{-2}$
Costante di Planck	h	6.63×10^{-34}	J s
Costante universale dei gas	R	8.31	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
Numero di Avogadro	N_A	6.02×10^{23}	mol^{-1}
Costante di Boltzmann	k	1.381×10^{-23}	J K^{-1}
Costante di Faraday	F	9.65×10^4	C mol^{-1}
Costante di Stefan–Boltzmann	σ	5.67×10^{-8}	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$
Costante gravitazionale	G	6.67×10^{-11}	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$
Pressione atmosferica standard	p_0	1.013×10^5	Pa
Temperatura standard (0°C)	T_0	273	K
Volume molare di un gas perfetto in condizioni standard (p_0, T_0)	V_m	2.24×10^{-2}	$\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$

ALTRI DATI CHE POSSONO ESSERE NECESSARI (*)

Accelerazione media di gravità	g	9.81	m s^{-2}
Densità dell'acqua	d_a	1.00×10^3	kg m^{-3}
Calore specifico dell'acqua	c_a	4.19×10^3	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
Calore di fusione dell'acqua	λ_f	3.34×10^5	J kg^{-1}
Calore di vaporizzazione dell'acqua (a 100°C)	λ_v	2.26×10^6	J kg^{-1}
Calore specifico del ghiaccio (a 0°C)	c_g	2.11×10^3	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

(*) Valori arrotondati, con errore relativo minore di 10^{-3}