Fisica per Scienze Naturali (AA 2013-2014) — argomenti trattati nelle lezioni —

Giulio D'Agostini

30 maggio 2014

1 (5 marzo)

- Densità: definizione e misure nel caso di solidi regolari. Misure di massa e di volume.
- Misure dirette e misure indirette.
- Cifre significative.
- Moti sia rettilinei che circolari (o qualunque) a 'velocità' (quella che si misurerebbe ul un ipotetico tachimetro) costante. Velocità media.
- Triangoli simili e grandezze trigonometrico definite nell'ambito rettangolo:
  - **coseno di un angolo**: rapporto fra il cateto adiacente (all'angolo di interesse) e l'ipotenusa;
  - **seno di un angolo**: rapporto fra il cateto opposto (all'angolo di interesse) e l'ipotenusa;
  - **tangente di un angolo**: rapporto fra il cateto opposto (all'angolo di interesse) e il cateto adiacente.
- Misura dell'altezza di una torre (modellizzata dal cateto 'altezza' di un triangolo rettangolo) dalla conoscenza di
  1. lunghezza della 'base', lunghezza di altezza d base di opportuno triangolo rettangolo simile, usando una pertica;
  2. lunghezza della base e ampiezza di uno dei due angoli non retti.
- Applicazione alla valutazione della distanza di Roma dall'asse terrestre (e quindi alla circonferenza del 42° parallello).
- Cenni alle misure di latitudine e di longitudine, e, in particolare, ai problemi legati a quest'ultima:
  - problema degli orologi sincronizzati;
  - uso delle effemeridi dei satelliti di Giove come 'orologio astronomico' universale.

  Letture consigliate:
  - *L'isola misteriosa*, di Giulio Verne.
  - *Longitudine*, di Dava Sobel.

  E, a proposito di Giove: identificarlo nel cielo e seguirlo nelle prossime settimane.

2 (6 marzo)

- Soluzione dei problemi di velocità della Terra intorno al Sole e di Roma intorno all'asse terrestre.
- Ancora trigonometria limitatamente al triangolo rettangolo:
  - valori e limiti notevoli:

$$\lim_{\alpha\to 0}: \quad \begin{cases} \cos(\alpha) & \to & 1 \\ \sin(\alpha) & \to & 0 \\ \tan(\alpha) & \to & 0 \end{cases}$$

$$\lim_{\alpha\to 90^\circ}: \quad \begin{cases} \cos(\alpha) & \to & 0 \\ \sin(\alpha) & \to & 1 \\ \tan(\alpha) & \to & \infty \end{cases}$$

$$\lim_{\alpha\to 45^\circ}: \quad \begin{cases} \cos(\alpha) & \to & \sqrt{2}/2 \approx 0.707 \\ \sin(\alpha) & \to & \sqrt{2}/2 \approx 0.707 \\ \tan(\alpha) & \to & 1 \end{cases}$$

  - relazione base della trigonometria:

$$\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1\,.$$

- Ancora misure di densità:
  - cilindro 'stretto e lungo';
  - cono+cilindro ($\rightarrow$: volume?);
  - sassi ($\rightarrow$: volume?).
- Uso di integrali per il calcolo di volumi (somma del volume di *infinite* 'fette' di spessore *infinitesimo*):
  - prisma retto ('parallelepipedo');
  - cono.
- Tecnica dell'affondamento per le misure di volumi ("Eureka!").
- Esperimento del "dito nell'acqua", e misure associate:
  - variazione delle letture sulla bilancia in funzione dell'affondamento di un cilindro;
  - idem nel caso del cono.

3 (10 marzo)

- Osservazioni planetarie:
  - Giove:
    * farsi una 'ragione' di come mai 'culmina' verso le 20;
    * cosa succederà nei prossimi mesi?
    * farsi una ragione di come mai è così alto nel cielo: come è orientato l'asse terrestre in questo periodo? (Siamo quasi all'equinozio di primavera)

- Marte: si vedrà bene da fine mese $\rightarrow$ dove sta adesso rispetto alla Terra e a Giove?

- Ancora su integrali: **non** 'sono' *aree*, bensì *somma di infiniti termini infinitesimi*:
  - se gli elementi infinitesimi sono aree 'infinitesime', l'integrale è un'area;
  - se sono volumi infinitesimi, l'integrale è un volume;
  - se sono variazioni infinitesime di posizione, l'integrale è la variazione complessiva di posizione;
  - se sono variazioni infinitesima di velocità, l'integrale è la variazione complessiva di velocità;
  - etc. etc.

- Esempio di integrale di area: superficie del cerchio "sommando" le infinite corone circolari di base (dopo 'rettificazione') $2\pi\, r$ e altezza dr, e quindi di superficie infinitesima $dA = 2\pi\, r\, dr$.

- Esempio di ragionamento 'a ritroso': superficie di una sfera calcolando, a partire dalla legge $V(r)$, la superficie di ciascun guscio sferico (modello 'a cipolla'): $A(r) = \frac{dV}{dr}$.

- Dipendenze funzionali. Contrariamente all'uso scolastico della matematiche, non ci sono solo delle y funzioni di x, ovvero $y(x)$. Nelle scienze siamo interessati in continuazione a come una variabile varia in funzione di un'altra: $V(r)$, $A(r)$, $l(r)$, $r(x)$, $x(t)$, $y(t)$, $r(t)$, $F(m)$, $F(d)$, $a(t)$, $P(t)$, $T(t)$, $m(\rho)$, etc. [ove a, F, m, d, P, T, e ρ e stanno per accelerazione, forza, massa, pressione, temperatura e densità].

- Primo cenno ai *diagrammi orari*: $x(t)$ e $y(t)$.

- Forze fra masse 'puntiformi' (legge di gravitazione universale, o legge di Newton) e forze fra cariche elettriche (legge di Coulomb):
  - $\rightarrow$ *massa gravitazionale* (come fosse una 'carica')
  - la forza è **reciproca**: A attrae B esattamente come B attrae A! (e idem per repulsione, nel caso di cariche dello stesso segno)
  - $\rightarrow$ punti materiali.

- *Massa inerziale* e seconda Legge del moto ('di Newton'):

$$a = \frac{F}{m}$$

  Preferibile alla popolare '$F = ma$': $\rightarrow$ <u>cause</u> ed <u>effetto</u>! $(F, m) \longrightarrow a$.

- Applicazione alla caduta dei gravi:
  - perché è la 'mela' che accelera verso la Terra e non la Terra verso la 'mela'.
  - come mai tutti i corpi, in prossimità della superficie terrestre e trascurando l'effetto dell'aria, cadono nello 'stesso modo' (ovvero con la stessa accelerazione).

- *En passent:* concetti intuitivi di velocità, accelerazione e forza.

4 (12 marzo)

- Misura del peso di un litro di aria.
- Valutazione del peso dell'aria dall'equazione di stato dei gas (oggi pressione a Roma c.a 1027 mb, da IlMeteo.it).
- Media pesata (applicata alla valutazione della massa molecolare media dell'aria).
- Unità di misura di forza e pressione. Percezione fisica di 1 Pa.
- Correzione della determinazione della densità del polistirolo dovuta alla **spinta di Archimede**.
  A proposito, ecco alcuni quesiti seri:
  - Se si pesano, alternativamente, su una bilancia un pezzo di piombo e un blocco di polistirolo, entrambi di massa pari a 10001 g, in quali dei due casi la bilancia darà un valore maggiore?
  - Se si pesano, alternativamente, su una bilancia un pezzo di piombo e un blocco di polistirolo, di massa ignota e in entrambi i casi si legge 10001 g, quale dei due corpi ha la massa maggiore?
- Leggi di scala:
  - dipendenza da R di circonferenza, superficie cerchio, superficie sfera e volume sfera;
  - dipendenza da R e da h del volume di cilindro e cono fissata l'altra grandezza;
  - riscritture del volume del cono per una data 'apertura angolare' (caratterizzata dal rapporto $t = R/h$):

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi}{3\,t}\,R^3 \\ V &= \frac{\pi\,t^2}{3}\,h^3 \end{aligned}$$

    $\rightarrow$ dipendenza del volume da R o da h, fissata l'apertura angolare (ovvero il rapporto R/h).
    $\rightarrow$ Motivazione del grafico Δm Vs h^3 ($\rightarrow$ quaderno individuale).
- Forze: dal concetto intuitivo ai dinamometri (e commenti su altri concetti intuitivi, come spazio, tempo, velocità e accelerazione).
- Secondo principio della meccanica e unità di misura della forza.
- Costante di gravità g e suo 'doppio significato':
  - Rapporto fra forza esercitata dalla Terra su un oggetto (posto in prossimità della superficie terrestre) e la sua massa: $\boldsymbol{g = 9.8\,\mathrm{N/kg}}$.
  - Accelerazione verso il basso, causata dalla <u>sola</u> forza di gravità su un oggetto (posto in prossimità della superficie terrestre) **indipendentemente** dalla sua massa: $\boldsymbol{g = 9.8\,\mathrm{(m/s)/s}}$ [in genere "$g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$", ma non rende bene l'idea del suo significato!]

5 (13 marzo)

- Ancora integrali:
  - Soluzione del problema del calcolo del volume della sfera 'sommando' le infinite fette;
  - Variazioni di posizione (Δx) conoscendo la legge della velocità $v_x(t)$ e 'ricordando' che $dx = v_x(t)dt$:

$$\begin{aligned} \Delta x|_{t_1}^{t_2} &= \int_{t_1}^{t_2} v_x(t)dt \\ x(t_2) &= x(t_1) + \Delta x|_{t_1}^{t_2} \, . \end{aligned}$$

- Problema inverso: valutazione di $v(t)$ nota $x(t)$:

$$v_x(t) = \frac{dx(t)}{dt} \, .$$

  Esempio: $x(t) = \alpha t + \beta$:
  - $\beta = x(t = 0) \equiv x_0$;
  - $\alpha = \frac{dx}{dt} \equiv v_{x_0}$ (velocità costante).

- Diagrammi orari (equazioni orarie) e traiettorie.
- Velocità media e velocità istantanea.
- 'Relazioni infinitemali' di interesse:

  $dx = v_x \, dt$: spostamento 'infinitesimo' lungo la x in un intervallo 'infinitesimo' dt:
  - Spostamento in un intervallo di tempo finito, fra t_1 e 2_2: $\int_{t_1}^{t_2} v_x(t)dt$
  - Velocità istantanea $v_x(t)$: $\frac{dx}{dt}$

  $dy = v_y \, dt$**:** idem per la componente y.

  $dz = v_z \, dt$**:** idem per la componente z.

  $ds = v \, dt$**:** idem per spostamento nello spazio.

  $dv_x = a_x \, dt$**:** variazione di velocità 'infinitesimo' della coordinata x in un intervallo 'infinitesimo' dt:
  - Variazione di velocità lungo x in un intervallo di tempo finito, fra t_1 e t_2: $\int_{t_1}^{t_2} a_x(t)dt$.
  - Velocità istantanea $v_x(t)$: $\frac{dx}{dt}$

  $dv_y = a_y \, dt$**:** idem per la componente y.

  $dv_z = a_z \, dt$**:** idem per la componente z.

  $d\theta = v_\theta \, dt$: variazione infinitesima di angolo in un tempo infinitesimo dt (v_θ è la velocità angolare.)

  $dL^{(x)} = F_x \, dx$**:** lavoro infinitesimo dovuto alla forza F_x che agisce su un intervallo infinitesimo dx;

  $dL = F_x \, dx + F_y \, dy + F_z \, dz$**:** lavoro infinitesimo totale (somma dei tre coontributi).

  $I_x = F_x \, dt$**:** componente x dell'*impulso della forza*.

- Caduta di un grave inizialmente da fermo in $z = 0$ (diretta verso il basso): $F_z = mg \rightarrow a_z = F_z/m = g$:

$$\begin{aligned} v_z(t) &= v_z(0) + \int_0^t g\, dt' = g\, t \\ z &= z(0) + \int_0^t gt\, dt' = \frac{1}{2} g\, t\,. \end{aligned}$$

6 (17 marzo)

- Ancora su presione atmosferica e sulla percezione di "100000 N su 1 m^2".
- Forma e dimensione della Terra:
  - ragione per la quali si ipotizzò che la Terra dovesse circondata da spazio (Anassimandro – chi è interessato può leggersi il libro di Carlo Rovelli);
  - motivazioni della sfericità della Terra;
  - stima della circonferenza terrestre da parte di Eratostene.
- Principi della meccanica: **Leggi di Newton**;
- Forze legate da azione e reazione: $F_1^{(2)} = -F_2^{(1)}$;
- Forze applicate allo stesso corpo che si bilanciano: $F_1^{(A)} + F_1^{(B)} = 0$.
- Esempio della bottiglietta poggiata sul tavolo e successivamente tirata con elastico: *cherchez les forces!*.
- Attrito statico e attrito dinamico.
- Esempio della molla sospesa:
  - allungamento, dipendente linearmente dalla massa applicata (e quindi dalla forza peso diretta verso il basso, equilibrata dalla forza di reazione della molla);
  - variazione – stima qualitativa – del periodo in funzione della massa applicata (<u>non</u> lineare: ne riparleremo!).
  - valutazione semiqualitativa ('elastichetto') della forza necessaria per spostare la massa sospesa dalla posizione di equilibrio:
$\rightarrow$ forza di richiamo della molla: $-k\Delta l$;
$\rightarrow$ significato e unità di misura di k.
- Nota tecnica: come pesare oggetti uguali molto leggeri e praticamente identici mediante una pesata di un gran numero di essi.

7 (19 marzo)

- Dinamica della molla: equazione differenziale che la caratterizza.
- Problema del sasso nel pozzo per il centro della Terra:
  - forza di gravità all'interno di un guscio sferico omogeneo;

- forza di gravità e accelerazione all'interno della Terra alla generica distanza r dal centro della Terra;
- forza di gravità dal centro della Terra all'infinito;
- equazione differenziale che descrive il moto del sasso nell'ipotetico pozzo e analogia con la molla.

- Problemi con carrucole, molle, gravità, attrito statico e attrito dinamico.
- Fusi orari, mezzogiorno 'ufficiale' e mezzogiorno locale.

8 (20 marzo)

- Soluzione/discussione di/su problemi assegnati.
- *Linearizzazione* di andamenti non lineari e applicazione alle misure di affondamento del cono.
- Concetto di *sensibilità* di uno strumento di misura e applicazione al caso di misura di volume di solidi irregolari mediante affondamento.
- Problemi con 'fili inestensibili e senza peso': tensione del filo ai due capi. Caso statico e caso dinamico.

9 (24 marzo)

- Sull'"enigma" del mezzogiorno solare (diverso da quello calcolato dall'ora ufficiale, tenendo conto della differenza di longitudine fra il meridiano di Roma e quello dell'Etna!).
- Media pesata (già incontrata nel calcolo della massa molare media dell'aria):
  - Definizione, data la *generica* variabile x (possono essere voti, stipendi, posizioni, velocità, etc.)
  $$\frac{\sum_{i=1}^n x_i\, p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}\,;$$
  - Estensione al continuo (gli integrali si intendono <u>definiti</u>, estesi sui 'volumi' di interesse)
  $$\frac{\sum_{i=1}^n x_i\, p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \rightarrow \frac{\int x\, dp}{\int dp}\,.$$
  - *Centro di massa*: media pesata delle posizioni di punti materiali, ove i pesi sono le loro masse:
  $$x_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i\, m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \rightarrow \frac{\int x\, dm}{\int dm}\,.$$
  (e idem per y_{cm} e z_{cm}).
  - Baricentro (spesso usato impropriamente come 'sinonimo' di centro di massa): media pesata delle posizioni di punti materiali, ove i pesi sono le forze che agiscono su di essi:
  $\rightarrow$ coincide con il centro di massa quando le forze non dipendono (o dipendono poco) dalla posizione (ad esempio un 'piccolo' oggetto sottoposto alla forza peso).
  - Valutazione del centro di massa per simmetria: ad esempio, in una sfera non può che coincidere con il centro.

– Esempio di valutazione nel caso del cono (lungo l'asse):

$$h_{cm} = \frac{\int_0^h x\,dm}{\int_0^h dm} = \frac{\int_0^h x\,\rho\,dV}{\int_0^h \rho\,dV} = \frac{\int_0^h x\,\rho\,A(x)\,dx}{\int_0^h \rho\,A(x)\,dx} = \frac{\int_0^h x\,\rho\,\pi\,r^2(x)\,dx}{\int_0^h \rho\,\pi\,r^2(x)\,dx} = \ldots = \frac{3}{4}\,h\,.$$

– Importante proprietà (estendibile da 4 a infiniti punti materiali):

$$\begin{aligned} x_{cm} &= \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + x_3 m_3 + x_4 m_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} \\ x_{cm}^{(1,2)} &= \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2} \\ x_{cm}^{(3,4)} &= \frac{x_3 m_3 + x_4 m_4}{m_3 + m_4} \\ x_{cm}^{[(1,2),(3,4)]} &= \frac{x_{cm}^{(1,2)}(m_1 + m_2) + x_{cm}^{(3,4)}(m_3 + m_4)}{(m_1 + m_2) + (m_3 + m_4)} \underline{\boldsymbol{= x_{cm}}}\ \ \textbf{(!)}. \end{aligned}$$

⇒ applicazione al calcolo del centro di massa fra due sfere.

– Esempio di un sistema di due masse (m_1 e m_2) e una terza massa m poste (per semplicità) lungo un asse: la forza gravitazionale che il sistema $(m_1 + m_2)$ esercita su m (e quindi la forza che m esercita su $(m_1 + m_2)$) non è pari a quella dovuta alle due masse poste nel baricentro!
La **sfera** è un **caso speciale**, anche se non diamo la dimostrazione.

- Introduzione ai moti in 2D e 3D. Esperimento dell'oggetto lanciato dal bordo del tavolo. Concetti di base, relativi alla cinematica e dinamica del punto:

  – "ogni coordinata si evolve per conto proprio, mentre il tempo è comune";

  – rappresentazione compatta mediante *vettori*:

$$\begin{aligned} \vec{r} &= (x, y, z) \\ \vec{v} &= (v_x, v_y, v_z) \\ \vec{a} &= (a_x, a_y, a_z) \\ \vec{F} &= (F_x, F_y, F_z)\,. \end{aligned}$$

  – Ogni equazione vettoriale corrisponde a tre equazioni, una per componente. Ad esempio

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \Rightarrow \quad \left(a_x = \frac{F_x}{m},\ a_y = \frac{F_y}{m},\ a_z = \frac{F_z}{m}\right)$$

- Esperimenti in aula:

  – lancio della moneta dal bordo del tavolo: $\vec{F} = (0, -mg)$;

  – lancio della moneta lugo il tavolo: $\vec{F} = (-\mu_D mg, 0)$;

  – oggetto lanciato in aria verticalmente: $\vec{F} = (0, -mg)$.

- oggetto lanciato per aria (in modo e con velocità iniziale qualsiasi, ma trascurando la resistenza dell'aria):

$$\begin{aligned}
\vec{F} &= (0, -mg) \\
\vec{a} &= (0, -g) \\
\vec{v}_0 &= (v_{x_0}, v_{y_0}) \\
\vec{v}(t) &= \vec{v}_0 + \int_0^t \vec{a}(t')\, dt' \\
\vec{s}(t) &= \vec{s}_0 + \int_0^t \vec{v}(t')\, dt' \,.
\end{aligned}$$

10 (26 marzo)

- Dettagli dell'esperimento del lancio della moneta dal tavolo (vedi anche dispense), in particolare
  - dalle equazioni orarie [$x(t)$ e $y(t)$] alla traiettoria [$y(x)$].
- Esperimento di Cavendish (cenni vaghi) e sua importanza storica per la determinazione la densità media terrestre (e ovviamente della sua massa).
- Vettori in senso geometrico (dal latino *vector* – vedi anche *vecto* e *veho*): componenti, somma, modulo, angolo rispetto all'asse dell'ascisse.
- Vettore velocità e sua relazione ai 'vettori' della geometria: $\vec{v}\,\Delta t = \Delta\vec{s}$: direzione, verso, modulo (per quanto riguarda la somma bisogna prestare attenzione al senso dell'operazione). Applicazione all'esperimento del lancio della moneta.
- Forza di resistenza dell'aria nell'approssimazione di dipendenza lineare dalla velocità ('attrito di viscosità'): $-\beta\,\vec{v}$.
  Caso di caduta di grave (esperimento del palloncino):
  - analisi qualitativa della dipendenza della forza totale in funzione del tempo;
  - velocità limite: definizione e sua dipendenza da m, β e g.
- Riepilogo dei Principi della Meccanica di Newton.
- Formulazione originaria di Newton:
  - *quantità di moto* e sua dipendenza dalla forza applicata.
- I due integrali fondamentali della meccanica:
  - integrale della forza rispetto al tempo ("*impulso della forza*") e variazione della quantità di moto (l'impulso è grandezza vettoriale);
  - somma degli integrali delle componenti della forza rispetto alla coordinata corrispondente: *lavoro della forza* e variazione dell'*energia cinetica* (lavoro ed energia cinetica sono *grandezze scalari*, come la massa e il tempo).

11 (27 marzo)

- Riconsegna quaderni individuali e discussioni su alcuni punti 'critici'.
- Esperimento concettuale di Newton del lancio di oggetto da una montagna con velocità orizzontale sempre crescente.
- Condizione di orbita circolare dallo spazio.
- Triangoli simili e secodo teorema di Euclide.
- Stima delle dimensioni della Luna dall'ombra della Terra durante un'eclissi.
- Principio di misura della distanza Terra-Sole di Aristarco di Samo.

12 (31 marzo)

- Ancora sulle medie:
  - velocità media data v_i negli intervalli Δt_i o dalla conoscenza di $v(t)$:

$$\begin{array}{ccc} \dfrac{\sum_{i=1}^{n} v_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^{n} \Delta t_i} & \to & \dfrac{\int_{t_{min}}^{t_{max}} v(t)\,dt}{\int_{t_{min}}^{t_{max}} dt} \\ \left[\dfrac{\Delta s}{\Delta t}\right] & \leftrightarrow & \left[\dfrac{\Delta s}{\Delta t}\right] \end{array}$$

    $\Rightarrow$ La media delle velocità pesate con i tempi di percorrenza corrisponde effettivamente alla velocità media.

  Mentre la media pesata con le distanze,

$$\begin{array}{ccc} \dfrac{\sum_{i=1}^{n} v_i \Delta s_i}{\sum_{i=1}^{n} \Delta s_i} & \to & \dfrac{\int_{s_{min}}^{s_{max}} v(t)\,ds}{\int_{s_{min}}^{s_{max}} ds} \\ ?? & \leftrightarrow & ?? \end{array}$$

    anche se dimensionalmente è una velocità, <u>non è</u> la velocità media (la grandezza fisica "$v\,\Delta s$" non esiste!!).

    Soluzione:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\sum_i \Delta s_i}{\sum_i \Delta t_i} = \frac{\sum_i \Delta s_i}{\sum_i \Delta s_i / v_i} \longrightarrow \frac{\int_{s_{min}}^{s_{max}} ds}{\int_{s_{min}}^{s_{max}} (1/v)\,ds}$$

    Nel caso di un percorso di lunghezza Δs suddiviso in n tratti uguali, ciascuno lungo $\Delta s/n$:

$$\begin{aligned} v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} &= \frac{\Delta s}{\sum_i (\Delta s/n)/v_i} = \frac{n}{\sum_i 1/v_i} \\ \frac{1}{v_m} &= \frac{1}{n}\sum_i \frac{1}{v_i} \end{aligned}$$

    $\to$ media armonica.
  - Esempio: velocità media su un percorso con tratti uguali percorsi a velocità diversa e di un percorso percorso con velocità diverse per tempi uguali: $\to$ quaderno.

- Media aritmetica (quella 'solita'), media geometrica ($\sqrt[n]{\prod_i x_i}$) e media armonica (vedi sopra).

- Attrito dell'aria (e di fluidi in generale): espressione più realistica della forza ('drag force' – `http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient`):

$$\vec{F}_d = -\frac{1}{2}\,\rho\, C_d A\, v^2\,\hat{v}$$

ove ρ è la densità del fluido, A è l'area di "riferimento" (tipicamente, ma non necessariamente, quella trasversa) e C_d è il coefficiente di resistenza aerodinamica.

- *Prodotto scalare* (il risultato è un solo numero, uno 'scalare', non un vettore):

$$\begin{aligned} \vec{a}\cdot\vec{b} &= a_x\, b_x + a_y\, b_y + a_z\, b_z \\ &= |\vec{a}|\cdot|\vec{b}|\cdot\cos\theta \end{aligned}$$

$\rightarrow$ Applicazione al calcolo di θ fra due vettori note le componenti.

- Punto della situazione (cinematica e dinamica del **punto** materiale).
  - $\vec{F} = 0 \leftrightarrow \vec{a} = 0 \longleftrightarrow \vec{v} =$ costante;
  - $\vec{F} \neq 0 \longrightarrow \frac{d\vec{p}}{dt} = F \longrightarrow \vec{a} = \vec{F}/m$;
  - $\vec{F}_{m_{tot}} = \sum_i \vec{F}_{m_i}$
    (esempio di oggetto lanciato in aria e deformazione della parabola ideale);
  - inventario delle forze viste finora;
  - $\Delta\vec{p}|_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\, dt$;
  - $\Delta\vec{v}|_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{a}\, dt$;
  - $\Delta\vec{s}|_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{a}\, dt$;
  - $\int_{\vec{s}_1}^{\vec{s}_2} (a_x\, dx + a_y\, dy + a_z\, dz) \left[\equiv \int_{\vec{s}_1}^{\vec{s}_2} \vec{a}\cdot d\vec{s}\right] = \Delta\left(\frac{1}{2}v^2\right)\Big|_{\vec{s}_1}^{\vec{s}_2}$
    $\Rightarrow \int_{\vec{s}_1}^{\vec{s}_2} (F_x\, dx + F_y\, dy + F_z\, dz) \left[\equiv \int_{\vec{s}_1}^{\vec{s}_2} \vec{F}\cdot d\vec{s}\right] = \Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right)\Big|_{\vec{s}_1}^{\vec{s}_2}$;
    Esempi di applicazione in alcuni casi nnei quali la forza è costante e quindi l'integrale si riduce a $\vec{F}\cdot\Delta\vec{s}$:
    * caduta di un grave;
    * lancio verso l'alto;
    * spazio di frenata [attenti alle distanze di sicurezza!].
  - $\vec{F}_A^{(B)} = -\vec{F}_B^{(A)}$;

- Precisazione sulla validità dei principi della meccanica: *sistemi di riferimento inerziali.* Forze *inerziali* ('fittizie'). *Forza centripeta*: introduzione qualitativa:

  $\rightarrow$ <u>non</u> è un'altra forza (rispetto a quelle incontrate), ma il nome che si dà alla forza che tiene un oggetto su un'orbita circolare (la quale, a seconda del caso, può essere la forza gravitazionale, quella elastica, quella di attrito, quella di tensione di una corda, quella magnetica, etc.)

$\Rightarrow$ vedi ultimo esercizio su quaderno: <u>fare!</u> (importante!).

- Importante conseguenza del terzo principio: *conservazione della quantità di moto in un sistema isolato.* Caso di <u>due soli</u> oggetti:

$$\begin{aligned}
\vec{F}_A^{(B)} &= -\vec{F}_B^{(A)} \\
\frac{d\vec{p}_A}{dt} &= -\frac{d\vec{p}_B}{dt} \\
\frac{d\vec{p}_A}{dt} + \frac{d\vec{p}_B}{dt} &= 0 \\
\frac{d}{dt}\left(\vec{p}_A + \vec{p}_B\right) &= 0 \\
\vec{p}_A + \vec{p}_B &= \text{costante}
\end{aligned}$$

- Scomposizione delle forze e analisi dei moti su *piani inclinati.*
  - lungo il piano inclinato: $F_t = mg\,\sin\alpha \longrightarrow a_t = g\,\sin\alpha$, ove 't' sta per 'tangenziale';
  - normale al piano inclinato: $F_N = mg\,\cos\alpha$, bilanciata dalla resistenza del piano ($\longrightarrow a_N = 0$**!!**).
- Piani inclinati con attrito:
  - forza di attrito statico e condizione di equilibrio;
  - forza di attrito dinamico e forza totale lungo il piano:

$$\begin{aligned}
F_t &= mg\sin\alpha - \mu_D mg\cos\alpha \\
a_t &= g\sin\alpha - \mu_D g\cos\alpha = g\cdot(\sin\alpha - \mu_D\cos\alpha)\,.
\end{aligned}$$

- Importanza storica del piano inclinato e cenni alle misure del tempo negli esperimenti (ruolo dell'orecchio e della musica!).

13 (2 aprile)

- Esperimento con piano inclinato: misura del coefficiente di attrito statico.
- Soluzione e continuazione del problema 5 del 31 marzo (quaderno individuale):
  - relazioni fra vettore posizione (dal centro del cerchio), vettore velocità e vettore accelerazione: relazioni fra i moduli; relazioni fra direzioni e versi;
  - in particolare, relazione fra accelerazione e posizione della componenti:

$$\begin{aligned}
a_x &= -\omega^2\,x \\
a_y &= -\omega^2\,y
\end{aligned}$$

    (ricorda qualcosa?)
  - accelerazione e forza centripeta (causa dell'accelerazione centripeta).
- Moto circolare uniforme e moto delle coordinate cartesiane.
- Unità *naturale* degli angoli: *rapporto fra arco e raggio.*
- Descrizione del moto circolare uniforme: giri; angolo; distanza sulla circonferenza.

- Misure di 'velocità' (in senso lato):
  - giri nell'unità di tempo: frequenza (cicli/s o Hz);
  - angolo nell'unità di tempo: velocità angolare [rad/s, o semplicemente "s^{-1}", in quanto i radianti sono adimensionali (lunghezza dell'arco su lunghezza del raggio)];
  - arco sulla circonferenza percorso nell'unità di tempo.

  Conversioni varie.

- Rianalisi di problemi già incontrati precedentemente:
  - oggetto nell'ipotetico pozzo per il centro della Terra;
  - oggetto nell'ipotetica orbita 'radente' intorno alla Terra.

  $\Rightarrow$ relazione fra i due problemi;

  $\Rightarrow$ introduzione al **moto armonico**.

14 (3 aprile)

- Moto circolare uniforme: lavoro compiuto dalla forza centripeta nell'intervallo di tempo infinitesimo dt:

$$\begin{aligned} dL &= \vec{F} \cdot d\vec{s} \\ &= (m\,\vec{a}) \cdot (\vec{v}\,dt) \\ &= (\vec{a} \cdot \vec{v})\,m\,dt \end{aligned}$$

  Essendo, istante per istante, $\vec{a}$ ortogonale a $\vec{v}$ il lavoro infinitesimo dL è nullo $\forall\, t$
  $\rightarrow$ v rimane costante (come già sappiamo! – è solo un controllo di consistenza).

- Tipologia di problemi con moto circolare uniforme:
  - cinematica: velocità angolare, periodo e frequenza sono legate da relazioni che non dipendono dalle dimensioni del cerchio; per la velocità v e l'accelerazione centripeta a, occorre conoscere anche le dimensioni del cerchio. Molti problemi si riconducono a trovare una grandezza datane un'altra o altre due:

$$\begin{aligned} T &\rightarrow \nu,\ \omega; \\ \omega &\rightarrow T,\ \nu; \\ \ldots &\rightarrow \ldots \\ (R,\ \omega) &\rightarrow v,\ T,\ \nu, a_c; \\ (R,\ v) &\rightarrow \omega,\ T,\ \nu, a_c; \\ \ldots &\rightarrow \ldots \end{aligned}$$

  - dinamica: data la forza F_c si ricava a_c mediante $a_c = F_c/m$, o viceversa ($F_c = m\,a_c$). Alcuni esempi:
    - allungamento di una molla che trattiene un oggetto in moto circolare uniforme;
    - velocità massima di un moto circolare nel quale la forza centripeta è la forza di attrito con in suolo;

* problemi gravitazionali nell'approssimazione di orbita circolare
  → terza legge di Keplero.

- Ancora sul pozzo per il centro della Terra: **significato di $\boldsymbol{\omega}$**: → **pulsazione** (non "velocità angolare"!!).

- Soluzione del moto della molla data l'equazione che lega accelerazione a spostamento dalla posizione di equilibrio $a = -(k/m)x$: problema ben noto se identifichiamo k/m con ω^2:

$$x(t) = x_M \cos \omega t$$

  [Valida per $x(t=0) = x_m$ e $v(t=0) = 0$, in analogia al problema del pozzo per il centro della Terra, per il quale $r(t=0) = R_T$ e $v(t=0) = 0$.]

  ⇒ anche in questo caso $\boldsymbol{\omega}$ è una **pulsazione** (non c'è niente che ruota!).

- Introduzione a temperatura e calore: scala termomentrica, gradi centigradi; quantità di calore, calore specifico e capacità termica; definizione della *caloria* come quantità di calore necessaria per innalzare di 1 grado centigrado un grammo di acqua (fra 14.5 e 15.5 gradi).

Scaricare e consultare

Promemoria delle lezioni di Fisica 1 per Informatici

(vedi sito del corso)

15 (7 aprile)

- Dimostrazione con la ruota girevole: visualizzzione del movimento della proiezione lungo un asse: → equazini orarie sinusoidali di posizione e velocità

- Dalla terza legge di keplero alla legge di scala di velocità e velocità angolare con il raggio.

- Stazione orbitale e vita a bordo:
  - gli astronauti <u>sono</u> soggetti alla forza di gravità (altrimenti andrebbero per la tangente!);
  - istante per istante astronauti e stazione sono in 'caduta libera': → esperimento concettuale in caduta libera (ascensore rotto o gioco al Luna Park); problema analogo alla tensione della corda dei casi di $a = 0$, $a = -g$ e $a = g$.

- Principio zero della termodinamica.

- Scambi termici e temperatura di equilibrio. Caso particolare di due corpi formanti un sistema isolato.

- Cenni sulla percezione della temperatura (corpi in equlibrio termico ci sembrano essere più caldi o più freddi): effetto della capacità termica ed della conducibilità termica.

- Lavoro: dal concetto intuitivo (nel sollevamento di pesi) alla definizione fisica. Caso del piano inclinato: il lavoro dipende solo dalla differenza di quote e non dal percorso.
- Forze conservative e non conservative.
- Lavoro e potenza.
- Esperimento del mulinello di Joule: relazione fra lavoro e innalzamento di temperatura. $\rightarrow$ Energia cinetica, energia termica; equivalenza Joule$\leftrightarrow$caloria.
- Lavoro, (variazione di) energia cinetica e (variazione di) energia potenziale [quest'ultima relazione solo per forze conservative]. *Conservazione dell'energia.*
- Energia potenziale gravitazionale in prossimità della superficie terrestre (ovvero quando "$F = mg$").
- Energia potenziale della molla: continuare come esercizio.

16 (9 aprile)

- Calore latente di fusione e di ebollizione (e risvolti pratici per la fisica in cucina...).
- Conservazione della quantità di moto e urti anelastici.
- Dettagli energia potenziale della molla.
- Curve di E_p per gravità (in prossimità della superficie terrestre) e molla.
- Conservazione dell'energia meccanica e applicazione in problemi elementari (ad es. valutazione di velocità dalla relazione $\Delta E_c = -\Delta E_p$).
- Moto del sasso per il pozzo per il centro della Terra.
- Isocronismo degli oscillatori armonici.
- Generalità sulla soluzione dell'oscillatore armonico: $\zeta(t) = Z\cos(\omega t + \varphi)$, con Z e φ che dipendono dalle *condizioni iniziali.*
$\rightarrow \zeta(t) = \zeta_0 \cos\omega t$ nel caso $\zeta(0) = \zeta_0$ e $v_\zeta(0) = 0$.
- Dimostrazione con pendolino 'rimediato' e – non tutto il male vien per nuocere! – "pendolo di torsione" (oscillazioni rotazionali intorno all'asse del filo).
- Equazione differenziale del pendolo e approssimazione per "piccoli" angoli di oscillazione ($\sin\theta \approx \theta$, con θ <u>in radianti</u>!): $\rightarrow$ ancora oscillatore armonico, con $\omega = \sqrt{g/l}$:

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \theta_0 \cos(\omega t) \\ \dot{\theta}(t) \equiv \frac{d\theta}{dt} &= -\omega\theta_0 \sin(\omega t) \\ \ddot{\theta}(t) \equiv \frac{d\dot{\theta}}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} &= -\omega^2\theta_0 \cos(\omega t) = -\omega^2\,\theta(t)\,. \end{aligned}$$

Attenzione a non confondere $\dot{\theta}$ (velocità angolare, variabile nel tempo) con ω (pulsazione dell'oscillazione, <u>costante</u> e legata al periodo da $T = 2\pi/\omega$)!

- Lavoro eseguito dalla forza di gravità per R maggiore del raggio del pianeta, o della stella. Variazione di energia potenziale quando un oggetti di massa m va da R_1 a R_2. $\rightarrow$ Caso particolare da R_T a ∞.

- Espressione del potenziale gravitazionale avendo assunto $E_p(\infty) = 0$:

$$E_p(R) \;=\; -\frac{GMm}{R}\,,$$

in quanto

$$\begin{aligned} E_p(R) &= E_p(\infty) + \Delta E_p|_{\infty}^{R} \\ &= 0 + \Delta E_p|_{\infty}^{R} \\ &= 0 - L|_{\infty}^{R} = L|_{R}^{\infty} = \int_R^{\infty} \left(-\frac{GMm}{R'^2}\right) dR'\,. \end{aligned}$$

17 (10 aprile)

- Fisica in cucina:
  - come bruciare una macchinetta del caffè...
  - cottura a bagnomaria e al vapore;
  - pentola a pressione;
  - cottura in olio;
  - cottura al forno e microonde;
  - cottura alla bracie e cottura in pentola sotto il profilo di efficienza alimentare.

- Analisi grafica di $E_p(R) = -GMm/R$.

- Energia totale dei corpi in 'sistemi planetari' (e simili): $E_t = E_c + E_p$.
  Applicazioni
  - Variazioni di velocità in funzione di R.
  - Dipendenza dell'energia totale da R nel caso di orbite circolari.
  - Velocità di fuga da un corpo celeste sferico (e confronto con la velocità di orbita radente).
    [A proposito di accelererazione di gravità sulla superficie di corpi celesti: valutazione della **densità della Luna** da 'g_L' e da opportuna *legge di scala*.]

- Energia potenziale gravitazionale per $R > R_T$ e 'raccordo' con la formuletta mgh in prossimità della superficie terrestre:

$$-\frac{GMm}{R} \quad \longleftrightarrow \quad mgh\,.$$

  - *En passent*, potenza di una centrale idroelettrica (dati g e h):

$$P = \frac{dL}{dt} \;=\; \frac{(dm)\,gh}{dt} = \left(\frac{dm}{dt}\right)\cdot(gh)$$

- Energia potenziale fra cariche elettriche puntiformi.

- Forze e *campi* (gravitazionale ed elettrico). Energia potenziale e *potenziale*.
  $\rightarrow$ per dettagli si veda il file pdf "*Forze gravitazionali e forze elettriche*" sul sito.

- Reinterpretazione della formula $P = \left(\frac{dm}{dt}\right) \cdot (gh)$ come

$$P \;=\; \left(\frac{dm}{dt}\right) \cdot (\Delta V_G) = \varphi_m \, \Delta V_G \,,$$

  con φ_m flusso ('corrente') di massa, ed estensione al caso elettrico:

$$P \;=\; \left(\frac{dq}{dt}\right) \cdot (\Delta V) = I \, \Delta V \,.$$

- Lavoro, variazione di energia potenziale ed variazione di energia potenziale in caso di concomitanza di forze sia conservative ('c') che non conservative ('nc'):

$$\begin{aligned} L = L_c + L_{nc} &= \Delta E_c \\ -\Delta E_p + L_{nc} &= \Delta E_p \end{aligned}$$

  ovvero

$$\begin{aligned} L_{nc} &= \Delta E_p + \Delta E_c \\ \Delta E_c &= -\Delta E_p + L_{nc} \end{aligned}$$

  facendo **attenzione ai segni** (ad esempio il lavoro delle forze di attrito è sempre negativo, a meno che 'alla buona' non si intende soltanto il valore in modulo!).

18 (14 aprile)

- Analisi di grafici di energia potenziale. Punti di equilibrio (stabile, instabile, indifferente).

- Analisi di moti su guide ideali (indeformabili e senza attrito):
  - reazione vincolare ortogonale alla superficie: $\rightarrow \vec{T} \perp \vec{v}$;
  - $\rightarrow$ la forza di reazione vincolare non compie lavoro!
    (Come la forza centripeta o anche la tensione del filo nel caso del pendolo.)
  - Problema dello scivolo seguito da 'giro della morte'.

- Trasformazioni di velocità fra sistemi di riferimento inerziali.

- Principio di relatività.

  $\rightarrow$ Il gran naviglio di Galileo.

- Potenza per mantenere un corpo a velocità costante (vuol dire che c'è una forza uguale e contraria!).

  - Caso unidimensionale:

$$\frac{dL}{dt} \;=\; \frac{d(F\,ds)}{dt} = F\left(\frac{ds}{dt}\right) = F\,v\,.$$

- Sottocaso in cui la forza di attrito è proporzionale alla velocità ($F_A = -\beta\, v$):
  * forza del motore (spinge!): $F_M = \beta\, v$.
  * potenza del motore: $P_M = \beta\, v^2$.
- Sottocaso (più realistico per velocità di autovetture) in cui la forza di attrito è proporzionale al quadrato delle velocità ($F_A \propto -v^2$):
  * forza del motore (spinge!): $F_M \propto v^2$.
  * potenza del motore: $P_M \propto v^3$.

- Potenza come *trasferimento di energia* (lavoro e calore <u>sono</u> trasferimenti di energia):

$$P = \frac{dE}{dt}\,,$$

e quindi, se si conosce la potenza istante per istante, ovvero $P(t)$:

$$\Delta E|_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} P(t)\, dt\,.$$

- Esempi:
  - tempo per scaldare uno scaldabagno;
  - potenza per scaldare un flusso continuo di acqua (es. doccia con acqua scaldata mediante caldaia a gas).

19 (16 aprile)

- Bilancio energetico del pendolo (metodo generale che non dipende dall'approssimazione per piccoli angoli): valutazione della velocità massima (in modulo) da l e θ_0.
- Esperimenti di Ipazia ("riprodotto" in aula) e di Guglielmini (`http://it.wikipedia.org/wiki/Giovanni_Battista_Guglielmini`).
- Conversione fra unità di misura dell'energia e della potenza (vedi "appunti per informatici"). In particolare Btu e Btu/h.
- Leggi di conservazione negli urti fra due corpi considerati come un *sistema isolato*.
  - quantità di moto: sempre;
  - energia cinetica: solo urti perfettamente elastici.
- Dimostrazione con urti fra biglie d'acciaio sospese.
- Urti perfettamente elastici e legge di inversione della velocità relativa ($v_1' - v_2' = -(v_1 - v_2)$) con applicazioni ai casi in cui uno dei due corpi ha massa 'infinita' rispetto all'altro e quindi la sua velocità si mantiene costante nell'urto.
  Esempi:
  - urto contro parete (o di oggetto leggero contro oggetto pesante);
  - urto di oggetto pesante contro oggetto leggero inizialmente a riposto:
    → esperimento in aula di pallina da golf contro pallina 'leggera';
  - urto di ogegtto pesante contro oggetto leggero in movimento che gli va incontro, o che va nella stessa direzione.
- Pressione nei fluidi.

20 (23 aprile)

- Forze esterne applicata a un sistema di punti materiali:

  → moto del centro di massa ("prima equazione cardinale della meccanica").

  (Per dettagli vedi *Appunti per Informatici.*)

- Caso particolare di un sistema di particelle interagenti e sottoposte alla (sola) forza di gravità in prossimità della superficie terrestre.

- Legge di Stevino e spinta di Archimede.
  [Osservazione sui "punti di applicazione" della forza di gravità e di quella di Archimede e problemi di stabilità di oggetti galleggianti (→ cenno a "coppie delle forze", con riferimento a un concetto ben noto dai corsi delle superiori).]

- Principio di Pascal e paradosso idrostatico.

- Termalizzazione e precisazione sugli scambi di calore (in particolare l'irraggiamento per corpi nello spazio e per il raffreddamento della Terra).

- *Velocità di raffreddamento* di un oggetto a 'contatto' termico con un corpo di capacità termica 'infinita' e sua dipendenza da

  – differenza di temperatura $T(t) - T_F$;
  – capacità termica;
  – coefficiente di 'dispersione termica' η, e dipendenza di quest'ultimo da
    * conducibilità (λ);
    * superficie di contatto;
    * spessore dell'isolante.

$$\begin{aligned}\frac{dT}{dt} &= -\frac{\eta}{C}\,(T - T_F)\\ &= -\frac{1}{\tau}\,(T - T_F)\,,\end{aligned}$$

  con $\tau = C/\eta$ avente le dimensioni di un tempo:

  → *tempo caratteristico del processo*: tanto minore è τ tanto "più rapido" è il processo di termalizzazione.

- *Velocità di raggiungimento* della velocità limite nel caso di forza costante (F_M – ove 'M' ricorda 'motrice', che nel caso gravitazionale diventa 'mg, con verso positivo verso il basso) e resistenza dell'aria proporzionale alla velocità (caso unidimensionale):

$$\begin{aligned}F_t &= F_M - \beta\, v\\ m\,\frac{dv}{dt} &= F_M - \beta\, v\\ \frac{dv}{dt} &= -\frac{\beta}{m}\,(v - \frac{F_M}{\beta})\\ &= -\frac{1}{\tau}\,(v - v_F)\,.\end{aligned}$$

  → analogia rispetto alla termalizzazione.

- *Velocità di decrescita di popolazioni* nel caso di 'tasso di crescita' α **negativo**:

$$\begin{aligned} dN &= \alpha\, N\, dt \\ \frac{dN}{dt} &= -|\alpha|\,(N-0) \\ &= -\frac{1}{\tau}\,(N-N_F)\,, \end{aligned}$$

  ove l'equazione è stata riscritta ($0 = N_F$) in modo tale da mettere in evidenza l'analogia con le equazioni precedenti.

- *Velocità di diminuzione della quantità di nuclei radioattivi*: formalmente identica al caso precedente

⇒ **Equazione differenziale** comune ai quattro casi

$$\boldsymbol{\frac{dz}{dt} = -\frac{1}{\tau}\,(z - z_F)}\,,$$

avendo indicato con $\boldsymbol{z}$ la generica variabile.
(Per dettagli vedi *Appunti per Informatici.*)

- <u>Crescite</u> proporzionali al valore di una grandezza:

  - Popolazioni con tasso di crescita positivo ($\alpha > 0$):

$$\begin{aligned} dN &= \alpha\, N\, dt \\ \frac{dN}{dt} &= \alpha\, N \\ &= \frac{1}{\tau}\, N \end{aligned}$$

  - Aumento di capitale a tasso costante (e assumendo 'ricapitalizzazione istantanea'):

$$\begin{aligned} d\$ &= \alpha\, \$\, dt \\ \frac{d\$}{dt} &= \alpha\, \$ \\ &= \frac{1}{\tau}\, \$\,. \end{aligned}$$

  ⇒ **Equazione differenziale** comune ai due casi

$$\boldsymbol{\frac{dz}{dt} = \frac{1}{\tau}\, z}\,,$$

  avendo indicato con $\boldsymbol{z}$ la generica variabile.

21 (28 aprile)

- Grandezze fisiche la cui velocità istantanea di variazione è proporzionale al valore istantaneo della grandezza stessa [θ indica una generica grandezza; α può essere sia positiva (crescita) che negativa (decrescita)]:

$$\frac{d\theta}{dt} = \alpha\,\theta\,.$$

  - Altra scrittura ("la variazione relativa è proporzionale a dt):

$$\frac{d\theta}{\theta} = \alpha\,dt\,.$$

  - Soluzione iterativa, considerando incrementi finiti Δt, 'piccoli' rispetti alla costante caratteristica $\tau = 1/|\alpha|$:

$$\begin{aligned}
\theta(t=0) &= \theta_0 \\
\theta(\Delta t) &= \theta_0 + \Delta\theta = \theta_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta\theta}{\theta_0}\right) \approx \theta_0 \cdot (1 + \alpha\,\Delta t) \\
\theta(2\,\Delta t) &\approx \theta(\Delta t) \cdot (1 + \alpha\,\Delta t) \approx \theta_0 \cdot (1 + \alpha\,\Delta t)^2 \\
\theta(n\,\Delta t) &\approx \theta_0 \cdot (1 + \alpha\,\Delta t)^n \\
\theta(t) &\approx \theta_0 \cdot \left(1 + \frac{\alpha\,t}{n}\right)^n\,,
\end{aligned}$$

    ovvero, nel limite[1] $n \to \infty$,

$$\theta(t) = \theta_0\,e^{\alpha t}\,.$$

    $\Rightarrow$ **leggi esponenziali**.

  - Verifica:

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\theta_0\,e^{\alpha t}\right) = \alpha\,\theta_0\,e^{\alpha t} = \alpha\,\theta(t)\,.$$

  - Casi particolari, descritti dalla costante di tempo τ:
    - $\alpha > 0$: $\theta(t) = \theta_0\,e^{t/\tau}$, con $\tau = 1/\alpha$;
    - $\alpha < 0$: $\theta(t) = \theta_0\,e^{-t/\tau}$, con $\tau = -1/\alpha$.
  - Esempio di macchina a folle ($v_L = 0$), rallentata da resistenza dell'aria, assunta del tipo $-\beta v$:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\tau}\,v\,,$$

    con $\tau = m/\beta$:

$$v(t) = -v_0\,e^{-t/\tau}\,.$$

[1] Tale limite è uno dei modi per l'esponenziale in base e, in particolare:

$$\begin{aligned}
\lim_{n\to\infty} \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n &= e \\
\lim_{n\to\infty} \cdot \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n &= e^x\,.
\end{aligned}$$

- Densimetri a galleggiamento e *termometro galileiano* (vedi wiki).
- Ancora su idrostatica: equilibrio di liquidi non mescolabili; vacuometri e barometro di Torricelli.
- *Orror vacui* e scoperta di Torricelli: Esperimento di Gasparo Berti.
- Macchine per il vuoto. Emisferi di Magdeburgo.
- Applicazione del '*principio di Pascal*': $\frac{\Delta F_1}{A_1} = \frac{\Delta F_2}{A_2}$.
- 'Moltiplicatori' di forze:
  - sollevatore idraulico e pressa idraulica (basate sul principio di Pascal);
  - carrucole composte;
  - piani inclinati;
  - leve: $F_1 \cdot b_1 = F_2 \cdot b_2$ (in modulo, con 'orientamento opportuno).
- Analisi energetica dei sistemi a 'moltiplicazione di forza': la forza minore è compensata da un 'cammino più lungo': intorno alla posizione di equilibrio il lavoro fatto dalla forza 'attiva' (quella piccola) e quello fatto dalla forza di 'resistenza' (quella grande che bisogna vincere) sono uguali e opposti (intorno all'equilibrio si trascura l'energia cinetica).
  (Cenno al 'principio dei lavori virtuali'.)

22 (5 maggio)

- Introduzione all'ottica geometrica.
- Applicazione della legge di Snell (in approssimazione di piccoli angoli rispetto alla normale): profondità apparente di uno strato di acqua visto dall'alto ('sollevamento' del fondo di un bicchiere; accorciamento delle gambe al mare; profondità apparente di una piscina; etc.)
- Ancora su 'moltiplicatori' di forze: cambio delle bici:

  Rapporto di velocità (nel seguito i pedici p e r stanno rispettivamente per pedivella/pedale e ruota; n_1 e n_2 i numeri di denti della corona e del rocchetto; R_r e R_p i raggi di ruota e del cerchio ideale percorso dai pedali):

$$\begin{aligned}
\theta_r &= \theta_p \frac{n_1}{n_2} \\
\omega_r &= \omega_p \frac{n_1}{n_2} \\
v_r = R_r\,\omega_r &= R_r\,\omega_p \frac{n_1}{n_2} \\
&= R_r \frac{v_p}{R_p} \frac{n_1}{n_2} \\
&= v_p \frac{n_1}{n_2} \frac{R_r}{R_p}\,.
\end{aligned}$$

Rapporto di forze: Lavoro per una rotazione infinitesima della ruota $d\theta_r$:

$$\begin{aligned} dL_r = F_r\, ds_r &= F_r\, d\theta_r\, R_r \\ &= F_r \left(d\theta_p \frac{n_1}{n_2} \right) R_r = F_r \frac{n_1}{n_2} R_r\, d\theta_p\,; \end{aligned}$$

Lavoro (totale) corrispondente dei pedali

$$dL_r = F_r\, d\theta_r\, R_r\,.$$

Ma, essendo i due lavori uguali,

$$\begin{aligned} F_p &= F_r \frac{n_1}{n_2} \frac{R_r}{R_p} \\ F_r &= F_p \frac{n_2}{n_1} \frac{R_p}{R_r} \end{aligned}$$

Potenza

$$\begin{aligned} P_r = F_r\, v_r &= \left(F_p \frac{n_2}{n_1} \frac{R_p}{R_r} \right) \cdot \left(v_p \frac{n_1}{n_2} \frac{R_r}{R_p} \right) = F_p\, v_p = P_p \\ F_r\, v_r &= F_p\, v_p \; : \end{aligned}$$

→ come negli altri sistemi di 'moltiplicazione' delle forze, la forza può essere "compensata con la velocità".

(Ovviamente non abbiamo considerato gli attriti del sistema: nella realtà la potenza P_r 'scaricata a terra' sarà minore di P_p sui pedali.)

- Relazione fra le *costanti di tempo* τ e i tempi di dimezzamento (esponenziale negativo, ovvero $\alpha < 0$) e di raddoppio (esponenziale positivo, ovvero $\alpha > 0$).
- Tacchino esponenziale.
- Oscillazione armonica dell'acqua in un tubo a U.

23 (7 maggio)

- Ancora sulle leve:
  - Siccome conta solo la componente della forza ortogonale al 'braccio':

    $$|\vec{F}_1| \cdot |\sin\theta_1| \cdot b_1 = |\vec{F}_2| \cdot |\sin\theta_2| \cdot b_2\,.$$

  - Se consideriamo i vettori $\vec{r}_i$ e $\vec{F}_i$, con angolo positivo quando "il verso di $\vec{F}_i$ si diparte da quello di $\vec{r}_i$ in verso antiorario:

    $$|\vec{F}_1| \cdot |\vec{r}_1| \sin\theta_1 + |\vec{F}_2| \cdot |\vec{r}_1| \sin\theta_2 = 0\,.$$

  - Momento di una forza (per ora scalare con segno, dipendente dal segno di θ):

    $$M = |\vec{F}| \cdot |\vec{r}| \sin\theta\,.$$

- Caso di tante forza applicate a un *corpo rigido* che può ruotare intorno ad un asse. L'*equilibrio* permane se $M = \sum_i M_i = 0$.

- Soluzione dell'equazione differenziale $\frac{dz}{dt} = -\frac{1}{\tau}(z - z_L)$:
$$z(t) = z_L + (z_0 - z_L)\, e^{-t/\tau}\,.$$
Casi particolari:
  - $z_0 = 0$ e $z_L > 0$:
$$z(t) = z_L\,(1 - e^{-t/\tau})\,.$$
  - $z_0 > 0$ e $z_L = 0$:
$$z(t) = z_0\, e^{-t/\tau}\,.$$

- Variazione di energia interna di un gas perfetto:
  - Lavoro di pistoni <u>su</u> gas e variazione di energia interna.
  - Primo principio della termodinamica (nella 'notazione standard').
  - Esempi di lavoro eseguito <u>dal</u> gas in *trasformazioni reversibili* (analisi sul piano 'PV'):
    * isobara;
    * isocora;
    * isoterma.

- Principio di Fermat e legge della riflessione (dettagli sulle dispense).

24 (12 maggio)

- Bilancio energetico in un ciclo termodinamico.

- Principio di Fermat e legge della rifrazione:
$$\frac{\sin\theta_1}{v_1} = \frac{\sin\theta_2}{v_2}\,.$$
Dalla legge di Snell, espressa in funzioni degli indici di rifrazione 'assoluti' (rispetto al vuoto),
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}\,.$$
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$
ovvero
$$n_1\, v_1 = n_2\, v_2\,,$$
ove i prodotti $n\,v$ sono delle velocità (essendo n un numero puro).
Inoltre, essendo $n \geq 1$, con $n_{vuoto} = 1$, al vuoto corrisponde la velocità massima della luce: $\rightarrow c$.
Ne segue
$$v = \frac{c}{n}\,.$$
Nota: i ragionamenti di Fermat (vissuto 1601-1665) furono antecedenti alle prime stime della velocità della luce.

- Valutazioni astronomiche della velocità della luce:
  - Allungamento/accorciamento dei periodi dei satelliti di Giove quando la Terra di allontana/avvicina da Giove (Rømer, 1676).
  - Aberrazione della luce delle stelle (Bradley, 1725).

  (Cenni al tentativo di Galileo con lanterne fra colline toscane.)
- Parallasse e *parsec*. (A proposito: approfittare per osservare Marte!)
- Ancora su misure di longitudine e 'letture consigliate' (vedi prima lezione).
- Dinamica di un corpo rigido libero di ruotare intorno a un asse: $\rightarrow$ vedii appunti per informatici, sostituendo nelle formule (507) e (509)-(513), ovunque compare '$F_{T_i}\, r_i$', il momento della forza (scalare) M_i, introdotto nella lezione precedente.
  - Momento di inerzia (I).
  - Momento della quantità di moto (L).
  - Relazione fra momento delle forze esterne e variazione del momento della quantità di moto.
  - Lavoro compiuto dal momento della quantità di moto.
  - Energia cinetica di rotazione.
  - Potenza erogata da un 'motore' che esercità un momento della forza M mentre ruota alla velocità angolare ω.
- Tabella di analogie fra moto traslazionale (unidimensionale rettilineo) e moto rotazionale.
- Peculiarità dell'*inerzia rotazione* di dipendere dalla disposizione delle masse e applicazioni pratiche/sportive.

25 (14 maggio)

- Note sulle trasformazioni reversibili.
- Espansione adiabatica libera (irreversibile): l'energia interna di un gas perfetto dipende solo dalla temperatura!
- Discussione sui problemi delle ultime due lezioni.
- Ancora sulla soluzione dell'equazione differenziale

  $$\frac{dz}{dt} = -\frac{1}{\tau}\,(z - z_L)$$

  e sue applicazioni.
- Riflessione totale.
- Dipendenza dell'indice di rifrazione dalla lunghezza d'onda della luce ed effetto di dispersione della luce (copertina di *The dark side of the Moon...*).

26 (19 maggio)

Sistemi ottici elementari basati su riflessione e rifrazione (vedi dispense, in particolare capitolo di Dupré)

- Riflessione da specchi piani: immagine di un punto e di una 'freccia' (segmento orientato, definito da due punti).

- Specchi concavi e convessi in approssimazione "di Gauss" ('raggi parassiali'). Equazione dei punti coniugati (distanza dell'oggetto, indicata con p, e dell'immagine, indicata con q, lungo l'*asse ottico* dallo specchio)

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} \quad = \quad \frac{1}{f}\,,$$

  con $f = R/2$ negli specchi concavi (come quello mostrato a lezione) e $f = -R/2$ per gli specchi convessi, con R raggio della sfera ($R > 0$).

  - convenzione dei segni: p, q e f definiti positivi dalla parte del 'mondo reale'.
  - distanza focale:

$$p \to \infty \quad \Rightarrow \quad q \to f$$

  - q, dati p ed f:

$$q = \frac{p \cdot f}{p - f} \ :$$

    A) se $f < 0$ (convesso, come quelli delle auto – "objects in the mirror are closer than they appear"!):

$$q = \frac{p \cdot |f|}{p + |f|} < 0$$

    $\Rightarrow$ l'immagine è sempre virtuale.

    B) se $f > 0$ (concavo, come quello per truccarsi), dato $p > 0$:

$$\begin{aligned} p > f \quad &\Rightarrow \quad q > 0 \ \ \text{(immagine reale)} \\ p < f \quad &\Rightarrow \quad q < 0 \ \ \text{(immagine virtuale)} \\ p \to f \quad &\Rightarrow \quad q \to \infty \ \ \text{(immagine all'infinito)} \end{aligned}$$

  - Osservazioni qualitative in aula con specchio concavo, in particolare immagine reale "fuoriuscente dallo specchio".

- Specchi piani come limite di specchi sferici con $R \to \infty$, ovvero $|f| \to \infty$ e $1/f \to 0$.

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} \quad = \quad 0\,,$$

  ovvero $q = -p$.

- Attraversamento di un raggio di una lastra di materiale trasparente: traslazione del raggio uscente rispetto al prolungamento del raggio incidente.

- Diottro sferico ed equazione dei punti coniugati in approssimazione di raggi parassiali e 'piccola curvatura' (ovvero grande raggio della sfera – prestare attenzione!):

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} \quad = \quad \frac{n_2 - n_1}{r}\,.$$

  Convenzione dei segni (assumendo p a sinistra, come usualmente nei disegni dei sistemi ottici):

  - p positivo se a sinistra (n_1);
  - q positivo se a destra (n_2);
  - r positivo se il centro della sfera è nel mezzo '2' (n_2, ovvero a destra).

  Fuochi (nota: $f_2 - f_1 = r$):

$$\begin{aligned} p \rightarrow \infty \quad &\Rightarrow \quad q \rightarrow f_2 = r\,\frac{n_2}{n_2 - n_1} \\ q \rightarrow \infty \quad &\Rightarrow \quad p \rightarrow f_1 = r\,\frac{n_1}{n_2 - n_1} \end{aligned}$$

- Esperimento del barattolo trasparente riempito di acqua, ovvero di un diottro cilindrico ad una cui sezione applichiamo le formule del diotttro sferico:

$$\begin{aligned} r &= -R \\ p &\approx 2\,R \\ f_1 &\approx -4\,r = 4\,R > 0 \ \ \text{(a sinistra)} \\ f_2 &\approx -3\,r = 3\,R > 0 \ \ \text{(a destra)} \\ q &\approx -3\,R \ \ \text{(a "sinistra" dell'oggetto, ovvero più lontano, rispetto all'osservatore)} \end{aligned}$$

  (controllare i conti!)

- Diottro piano come limite di quello sferico per $|r| \rightarrow \infty$:

$$q = -p\,\frac{n_2}{n_1}$$

  .

- Lenti immerse in aria, nell'approssimazione detta di "lenti sottili" (analoga, per le lenti, dell'approssimazione di Gauss per gli specchi).

  - Equazione dei punti coniugati:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} \quad = \quad \frac{1}{f}\,,$$

  - convenzioni dei segni: q è positivo se "dall'altra parte" di p rispetto alla lente (ove si concentrano i raggi luminosi delle normali lenti convergenti); f è positiva per lenti convergenti, negativa per lenti divergenti.

27 (21 maggio)

- Valutazioni 'alla buona' di distanza focale di lenti divergenti (con esperimenti semiquantitativi in aula), facendo uso di una sorgente di luce a distanza 'infinita' (raggi incidenti paralleli).

  1. Osservazione attraverso la lente dell'immagine della sorgente (da non fare al sole!), valutando la distanza dalla lente per confronto con altro oggetto (tipicamente la mano di un collaboratore).
  2. Dimensioni del raggio della base del cono di luce divergente, incidente su un piano. Indicando con $|f|$ il modulo della distanza focale (negativa), R_0 il raggio della lente, R_c il raggio della base del cono alla distanza d, considerazioni sui triangoli simili danno:

     $$\begin{aligned} \frac{R_c - R_0}{|f|} &= \frac{R_c}{|f| + d} \\ \Rightarrow \quad |f| &= \frac{R_c \cdot d}{R_c - R_0} = \frac{d}{\frac{R_c}{R_0} - 1} \end{aligned}$$

     In particolare, quando $R_c/R_0 = 2$ si ottiene direttamente $|f| = d$!

- Costruzioni di immagini e ingrandimento:

  - specchio sferico concavo, con $p > f$ e $p < f$;
  - specchio sferico convesso;
  - (specchio piano come caso limite dei precedenti;)
  - diottro sferico, con applicazione all'esperimento del barattolo pieno di acqua ('diottro cilindrico');
  - lente convergente, con $p > f$ e $p < f$;
  - lente divergente.

  Formula dell'ingrandimento (lineare – ovvero di ciascuna dimensione trasversa, da non confondere con ingrandimento dell'area, che va chiaramente con il quadrato di quello lineare) che tiene conto anche dell'orientamento dell'immagine:

  $$G = -\frac{q}{p}\,.$$

  (Attenzione: spesso si incontra $G = q/p$, con la convenzione che è positivo se l'immagine è rovesciata... – nel dubbio si scriva $|G| = |q/p|$.)

- Miraggio ('inferiore', ovvero quello normale), quando l'indice di rifrazione dell'aria diminuisce con il diminuire della quota, a causa ad es. di asfalto caldo.

28 (26 maggio)

- Prodotto vettoriale (vedi dettagli su "lezioni per informatici", pp. 126-127) e varie regole ("dita mano sinistra" e "palmo-pollice mano destra") per valutarne direzione e verso).

- Forza di Lorenz:
$$\vec{F}_L = q\,\vec{v} \wedge \vec{B}$$
Significato del campo $\vec{B}$ in analogia al campo elettrico $\vec{E}$ e al campo gravitazionale $\vec{\mathcal{G}}$.
Unità nel SI di $\vec{B}$: *tesla* ('T'): un campo di 1 T, ortogonale alla direzione di moto di una particella di 1 C che viaggia a 1 m/s produce una forza di 1 N.
(Nota: 1 T = 10000 G, ove 'G' sta per *gauss*.

- Forza totale subita da una particella carica e massiva in presenza di campo gravitazionale, elettrico e magnetico:
$$\vec{F}_{tot} = m\,\vec{\mathcal{G}} + q\,\vec{E} + q\,\vec{v} \wedge \vec{B}$$

- Consequenza del fatto che, essendo il risultato di un prodotto vettoriale, $\vec{F}_L \perp \vec{v}$, e quindi $\vec{F}_L \cdot \vec{v} = 0$:
  - per ogni dt il lavoro compiuto da $\vec{F}_L$ è nullo:
  $$dL_L = \vec{F}_L \cdot d\vec{s} \;\; = \;\; \vec{F}_L \cdot \vec{v}\,dt = 0\,.$$
  - Ne segue che la variazione di energia cinetica è nulla e quindi la velocità rimane costante.

- Caso particolare di particella in una regione di spazio ove $\vec{B}$ uniforme e ortogonale a $\vec{v}$:
  - moto circolare uniforme, con $F_c = |\vec{F}_L|$ e $a_c = |\vec{F}_L|/m$.

- Nel caso generale $\vec{v}$ può essere scomposta in $\vec{v}_n$, normale a $\vec{B}$, e $\vec{v}_p$, parallela a $\vec{B}$ (sempre supposto uniforme):
  - componente parallela è imperturbata;
  - componente normale ruota, senza cambiare in modulo (vedi punto precedente);

  $\rightarrow$ *moto elicoidale.*

- Natura vettoriale del momento della forza e del momento della quantità di moto.
  - Dettagli teorici su "lezioni per informatici", pp. 129-133, fino alla (571), in particolare:
    * par. 23.3;
    * valutazione del prodotto vettoriale dalle componenti dei due vettori mediante la notazione matriciale Eqq. (556)-(557);
    * definizioni di $\vec{M}$ e $\vec{L}$ mediante prodotto vettoriale,
    $$\begin{aligned} \vec{M} &= \vec{r} \wedge \vec{F} \\ \vec{L} &= \vec{r} \wedge \vec{p} = \vec{r} \wedge (m\,\vec{v})\,, \end{aligned}$$
    e analogia con la dinamica del punto:
    $$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \quad \longleftrightarrow \quad \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$$
  - Dimostrazione in aula con ruota di bici:

* valutazione di direzione e verso di $\vec{L}$ quando la ruota gira intorno a una asse, con asse immobile e orizzontale: direzione lungo l'asse e verso nel verso di 'avvitamento' di una normale vite.
* valutazione di direzione e verso di $\vec{M}$ quando la ruota non è in rotazione e l'asse, inizialmente orizzontale, viene fatto ruotare verso il basso per effetto della forza di gravità:

$$\rightarrow\ d\vec{L} = \vec{M}\,dt \rightarrow\ d\vec{L} \parallel \vec{M}\,.$$

* ruota messa in rotazione, con asse inizialmente bloccato orizzontalmente e successivamente lasciato ruotare intorno ad un suo estremo:
essendo, istante per istante, $d\vec{L} \perp \vec{L}$, il vettore $\vec{L}$ ruota orizzontalmente (!)
$\rightarrow$ analogia con moto circolare uniforme, nel quale $d\vec{r} = \vec{v}\,dt$ è perpendicolare $\vec{r}$, e quindi $\vec{r}$ ruota (e anche $d\vec{v} = \vec{a}\,dt$ è perpendicolare $\vec{v}$, e quindi $\vec{v}$ ruota).

- Ancora sulla rifrazione:
  - rifrattometri e loro uso per misure di densità;
  - ancora su miraggi, in particolare miraggio *superiore*, normale o invertito;
  - aberrazione della luce proveniente al di là dell'atmosfera terrestre, in particolare quando i corpi celesti sono prossimi all'orizzonte.

- App *Ray Optics* (Android) e ulteriori considerazioni sulla costruzione di immagini:

  specchi sferici si possono usare altri due raggi notevoli:
  - raggio passante per il centro di curvatura, il quale viene riflesso su se stesso ($\theta_i = \theta_r = 0$);
  - raggio incidente il punto di intersezione fra specchio e asse ottico, per il quale la normale corrisponde all'asse ottico stesso ($\rightarrow$ è uno dei due raggi usati dalla App, ma non banale per costruzioni a mano, in quanto non è banale disegnare raggi per i quali $\theta_i = \theta_r$).

  lenti raggio incidente il punto di intersezione fra lente e asse ottico: prosegue dritto nell'approssimazione di lenti sottili(ssime), in quanto il tratto di lente in corrispondenza dell'asse ottico è equivalente a una porzione di lastra piana. ($\rightarrow$ uno dei due raggi usati dall'app). Ma in realtà sappiamo che il raggio viene traslato orizzontalmente e la traslazione è nulla quando lo spessore della lastra tende a zero.

  In conclusione: a parte l'indubbia validità dell'app per visualizzare/verificare la costruzioni di immagini, si raccomanda di attenersi ai due raggi notevoli di validità generale: quello parallelo all'asse ottico e quello (o suo prolungamento) passante per un fuoco.

- Software di simulazione *Algodoo* per ottica (per dettagli vedi sito del corso).

29 (28 maggio)

- Concetto di *coppia*: se un corpo ruota ma il suo baricentro rimane fermo $\sum_i \vec{F}_i = 0$: ci sono almeno due forze in gioco e non allineate.
(In pratica 'coppia' è sinonimo di momento di una forza.)

- Inerzia (di rotazione) e equilibrio: asta del funambolo e bastone in equilibrio su un dito:

→ $I \propto l^2$;

→ $\dot{\omega} \propto 1/I$;

→ maggior tempo per reagire e riassettare l'equibrio prima che sia troppo tardi.

- Momenti delle forze durante accelerazioni/frenate di veicoli: vantaggi/svantaggi della trazione posteriore e dei freni anteriori. (Dettagli p. 133 "lezioni per informatici".)

- Confronto fra corpi che scivolano senza attrito e corpi che rotolano (trascurando in entrambi i casi la resistenza dell'aria) lungo un piano inclinato.
→ bilancio energetico:

$$\begin{aligned} E_{tot}^{(sc.)} &= E_p + E_c^{(tr.)} = mgh + \frac{1}{2}\,mv^2 \\ E_{tot}^{(rot.)} &= E_p + E_c^{(tr.)} + E_c^{(rot)} = mgh + \frac{1}{2}\,mv^2 + \frac{1}{2}\,I\,\omega^2. \end{aligned}$$

→ Se i due corpi partono dalla stessa quota (stessa energia potenziale), il corpo che scivola ha, istante per istante velocità maggiore di quello che rotola e quindi arriva prima e più velocemente. Caso particolare di cilindro che rotola ($I = \frac{1}{2}\,m\,R^2$):

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{1}{2}\,mv^2 + \frac{1}{2}\,I\,\omega^2 \\ &= \frac{1}{2}\,mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}\,m\,R^2\right)\left(\frac{v}{R}\right)^2 \\ &= \frac{1}{2}\,mv^2 + \frac{1}{4}\,mv^2 = \frac{3}{4}\,mv^2 \end{aligned}$$

- Dimostrazione pratica, mediante parallelepipedo di cristallo, dell'effetto apparente di diminuzione dello spessore di un mezzo trasparente per effetto della rifrazione: regola per valutazione di n (già vista in lezioni precedenti).

- Formula di ingrandimento del diottro sferico (con la nostra convenzione dei segni e con n_1 e n_2 rispettivamente primo e secondo mezzo):

$$G = -\frac{n_1}{n_2}\,\frac{q}{p}$$

e formula generale, valida anche per specchi e lenti, se al posto di n_1 e n_2 usiamo n_i e n_f (iniziale e finale, identici per specchi e lenti:

$$G = -\frac{n_i}{n_f}\,\frac{q}{p}\,.$$

- Fisica dell'arcobaleno: vedi link sul sito del corso.

- Microscopio come esempio di sistema ottico costituito da due lenti: l'immagine della prima lente diventa l'oggetto della seconda. (Dettagli sul testo di Dupré.)

- Cenni alle tecniche fotografiche:

  – movimento della 'lente' durante la messa a fuoco;
  – effetto dell'apertura sulla messa a fuoco (pro e contro di grandi aperture e piccole aperture);

– "numero di diaframma" (N_D – ad es. 2, 2.8, 4, 5.6, 8, ...) e diametro d_A dell'apertura:

$$d_A = \frac{f}{N_D}$$

ove f è la lunghezza focale (ad es. 50 mm, 135 mm, etc.).

→ quindi la scritta, ad es., "$f/5.6$" andrebbe letta proprio "effe su 5,6", nel senso che tale è il valore del diametro.

(Vedi par. 4.8.5 delle dispense.)

– "Reciprocità" tempo e diaframma: la quantità di lunce che entra (indicata qui con il simbolo assolutamente arbitario Q_L) dipende, banalmente, da area dell'apertura (indicata qui, a scanso di confusione, con S_A, come 'sezione') e dal tempo di esposizione t_E durante il quale si permette alla luce di entrare:

$$Q_L \quad \propto \quad S_A\, t_E \propto r_A^2\, t_E \propto d_A^2\, t_E \propto \frac{t_E}{N_D^2}.$$

Ne segue che, <u>fissata la quantità di luce</u> Q_L che serve ad impressionare la pellicola (o ad attivare correttamente i pixel di una fotocamera digitale), possono variare "apertura" e "tempo" rispettando la seguente relazione

$$N_D^2 \propto t_E\,.$$

→ se si raddoppia il tempo di esposizione, va moltiplicato per $\sqrt{2}$ il numero di diaframma (da cui la progressione dei valori di N_D a passi di "×1.4" – vedi sopra).

– Differenza fra mettere a fuoco e 'zoomare': lo zoom cambia la distanza focale complessiva del sistema di lenti di cui è composto variando la distanza fra di esse; la messa a fuoco fa muove avanti/indietro l'intero sistema rispetto al piano della pellicola/sensore.

– Ruolo dello specchietto nelle 'reflex' e vantaggi delle 'mirrorless' (soprattutto con mirino elettronico).

- Camera oscura (con dimostrazione di modellino autocostruito) e differenza rispetto alle immagini prodotte da lenti e/o specchi.

- Dimostrazione di riflessi su oggetto circa sferico riflettente (impressionante l'effetto se si protende la mano verso di esso).

F I N E

("*... se ... fossimo riusciti ad annoiarvi, credete che non s'è fatto apposta.*")