

Il candidato svolga a scelta 1 dei seguenti temi e 2 dei seguenti esercizi

TEMI (massimo 3 facciate)

Tema 1. Discutere un esperimento che ritenete abbia avuto o avrà un'importanza strategica per gli sviluppi della fisica delle particelle elementari o dell'astrofisica.

Tema 2. Si discuta un esempio particolarmente significativo tra i recenti sviluppi relativi a nuovi stati della materia (graphene, cold atoms, high T superconductivity...)

Tema 3. Si discuta un fenomeno fisico in cui due o più scale fisiche di una stessa grandezza sono particolarmente rilevanti (massa e dimensioni spaziali per esempio).

Tema 4. Teorie fondamentali e teorie effettive: discutere un esempio rilevante per la fisica attuale.

ESERCIZI

Esercizio 1

Un sistema è composto da n moli di un gas ideale monoatomico e da radiazione. L'equazione di stato e l'energia interna del sistema sono:

$$p = \frac{nRT}{V} + \frac{1}{3}aT^4; \quad U = \frac{3}{2}nRT + aT^4V; \quad a = 7.6 \times \frac{10^{-16}J}{m^3K^4}.$$

- Rappresentare le isoterme (reversibili) nel piano (p, V) .
- Scrivere l'espressione della capacità termica del sistema a volume costante. Nel caso di una ipotetica stella (nelle stelle non ipotetiche è importante anche l'interazione gravitazionale) composta di idrogeno monoatomico, di massa $M=10^{31}$ kg e volume $V=10^{27}$ m³, per quale temperatura il contributo della radiazione alla capacità termica è pari a quello del gas?
- Calcolare il calore assorbito ed il lavoro fatto sul sistema in una espansione isoterma reversibile da V_1 a V_2 .

Esercizio 2

L'effetto fionda gravitazionale è stato usato per accelerare le sonde dirette ai confini del sistema solare sfruttando l'attrazione di gravità dei pianeti cui passano vicino e risparmiando così carburante.

Si vuole accelerare una sonda attraverso un passaggio ravvicinato su Giove. Si consideri il sistema Giove-sonda come un sistema isolato. Si consideri inoltre trascurabile la massa della sonda rispetto a quella di Giove.

Si cominci con lo studiare il problema nel sistema di riferimento solidale con Giove. Sia \vec{v}_0 la velocità iniziale ($t=-\infty$) della sonda e b il suo parametro di impatto (Fig. 1a).

a) Si scriva l'espressione delle grandezze fisiche conservate in funzione di $v_0 = |\vec{v}_0|$ e b .

b) Si trovi la distanza minima della sonda da Giove.

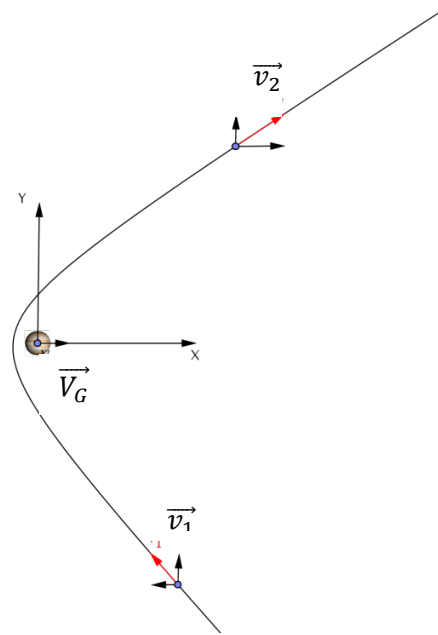
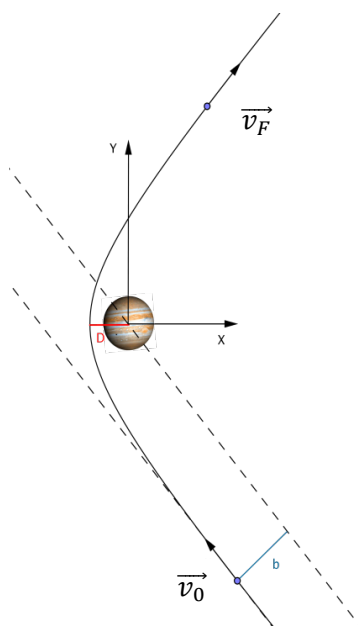
c) Supponendo v_0 fissata, qual è il minimo valore di b per cui la sonda non precipita su Giove?

d) Si scrivano le componenti cartesiane della velocità finale \vec{v}_f ($t=+\infty$) della sonda in funzione delle componenti cartesiane di \vec{v}_0 .

Si consideri ora il sistema di coordinate solidale con il sole (Fig. 1b). Nel caso che la velocità di Giove \vec{V}_G sia diretta lungo l'asse X e quella iniziale della sonda (\vec{v}_1) abbia componenti $v_{1x}=v_1\cos\theta$ e $v_{1y}=v_1\sin\theta$,

e) si scrivano le componenti della velocità finale della sonda in funzioni delle componenti della velocità iniziale v_{0x} e v_{0y} e di $V_G = |\vec{V}_G|$;

f) nel caso particolare in cui $v_1=V_G$, per quale valore di θ si ottiene la massima velocità finale della sonda?



Esercizio 3

Si vuole verificare se un atomo di anti-idrogeno sente la stessa forza di gravità di un atomo di idrogeno o se invece sente un'anti-gravità di segno opposto.

a) Un atomo di anti-idrogeno può essere eccitato al livello n tramite un fascio laser. Usando l'approssimazione di Bohr, ricavare il valore dell'energia per il livello n dell'atomo di anti-idrogeno

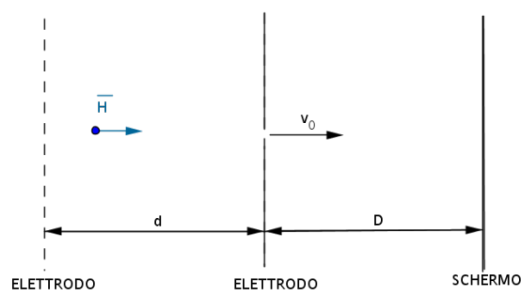
b) L'atomo viene immerso in un intenso campo elettrico che lo polarizza senza produrre transizioni elettroniche. Se $r_B=0.5 \text{ \AA}$ è il raggio di Bohr, si stimi l'ordine di grandezza del dipolo elettrico p_n corrispondente al livello n ?

c) Si vuole accelerare gli atomi di anti-idrogeno dopo averli raffreddati ($v_0 \sim 0$) ed eccitati al livello $n=10$, facendoli passare attraverso una regione lunga $d=1 \text{ m}$ in cui si ha un gradiente costante di campo elettrico. Si stimi il gradiente del campo elettrico necessario a portare gli atomi a una velocità di 400 m/s ?

d) Gli atomi vengono quindi fatti passare attraverso una fenditura sufficientemente larga da poter trascurare gli effetti diffrattivi. Oltre la fenditura, gli atomi attraversano una regione priva di campo elettrico lunga $D=1 \text{ m}$ fino a annichilarsi su uno schermo che ne misura la posizione. Se la risoluzione sulla posizione dello schermo è 10 \mu m , quanti atomi servono per osservare uno spostamento dell'1% dal valore noto di g ?

e) Esperimenti simili sono stati tentati accelerando antiprotoni (atomi di anti-idrogeno ionizzati) in un campo elettrico ma sono falliti, riuscite a immaginare perché?

f) Se $R_y=-13.6 \text{ eV}$ è l'energia dello stato fondamentale dell'atomo di idrogeno, si può predire, usando qualche simmetria fondamentale, quale sia l'energia dello stato fondamentale dell'anti-idrogeno? Quale simmetria si può usare? Usando la stessa simmetria si può prevedere il valore dell'accelerazione di gravità g^* sentita sulla terra da un atomo di anti-idrogeno?



Esercizio 4

Nell'usuale equazione di Schrödinger dell'atomo di idrogeno il protone è considerato puntiforme. Si vogliono studiare le perturbazioni dovute al fatto che il protone ha un raggio non nullo $R_p \sim 10^{-13}$ cm.

- a) Considerando la carica uniformemente distribuita all'interno del protone, si scriva l'espressione per il potenziale perturbativo
- b) Si discutano gli effetti qualitativi sugli stati elettronici dell'atomo di idrogeno
- c) Si stimi la correzione all'energia del livello fondamentale

Esercizio 5

- a) Dati due fermioni di spin $1/2$ e massa m , non interagenti e confinati in un segmento di lato L , si determinino gli stati fondamentali (funzione d'onda, energia e degenerazione) per spin totale $S=0$ e $S=1$.
- b) Introdotta quindi la perturbazione $H_J = -J \vec{\sigma}_1 \cdot \vec{\sigma}_2$ si determini il valore di J affinché gli stati fondamentali di singoletto e tripletto risultino degeneri.
[$\vec{\sigma} = (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$: spin del fermione].
- c) Discutere gli stati di energia più bassa, i primi stati eccitati e la loro degenerazione nel caso si aggiunga un terzo fermione.