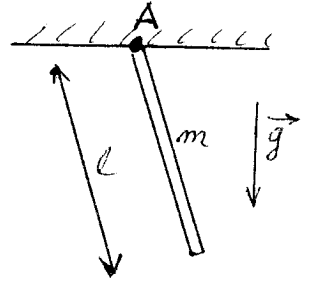


1. Kuvan 1 mukainen pitkä ja ohut homogeeninen sauva (massa = m , pituus = ℓ) heiluu kitkattomasti pystytasossa pienellä amplitudilla.
- a) Laske sauvan hitausmomentti kiinnityspisteen A kautta kulkevan, pystytasoa vastaan kohtisuoran pyörimisakselin suhteen.
- b) Laske sauvan edestakaiseen heilahdukseen kuluva aika.



Kuva 1

2. Hiukkanen liikkuu suurella nopeudella \vec{u}' $O'x'y'z't'$ -koordinaatistossa (kuva 2). $O'x'y'z't'$ -koordinaatisto puolestaan liikkuu suurella vakionopeudella $\vec{v} = v\vec{i}$ Oxyzt-koordinaatistoon nähden ($t = t' = 0$, kun O ja O' ovat päällekkäin).

- a) Johda Oxyzt-koordinaatistossa mitatulle hiukkasen nopeudelle \vec{u} lauseke käyttäen (käänteisiä) Lorentz-muunnosyhtälöitä

$$x = \gamma(x' + vt')$$

$$y = y'$$

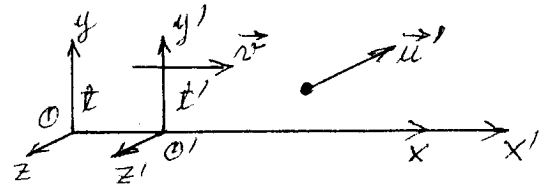
$$z = z'$$

$$t = \gamma(t' + vx'/c^2), \quad \gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}.$$

- b) Oletetaan, että

$$\vec{v} = (1 - \epsilon_1)c\vec{i} \quad \text{ja} \quad \vec{u}' = (1 - \epsilon_2)c\vec{i}'$$

($\vec{i} = \vec{i}'$, ϵ_1 ja ϵ_2 ovat pieniä positiivisia lukuja). Laske a)-kohdan lauseketta käyttäen hiukkasen nopeus \vec{u} Oxyzt-koordinaatistossa. Ylittääkö $|\vec{u}|$ valon nopeuden c ?



Kuva 2

3. Suurella nopeudella \vec{u} liikkuvan m -massaisen hiukkasen liikemäärä on

$$\vec{p} = \frac{m\vec{u}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

ja liikeyhtälö on edelleen muotoa

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}.$$

Laske suhteellisuusteoreettinen liike-energia K työn määritelmää

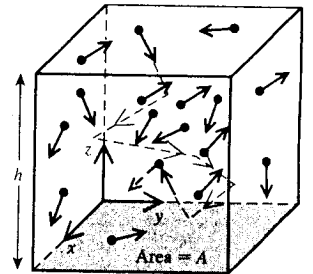
$$K = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

käyttäen. Päätele tuloksesta edelleen kokonaisenergian ja lepoenergian lausekkeet.

4. Tarkastellaan kuvan 4 mukaisen säiliön sisältämää ideaalikaasua. Monoatominen ideaalikaasu koostuu hiukkasista, joiden massa = m . Säiliön tilavuus $V = Ah$ ja hiukkasten lukumäärä = N . Olettaen, että hiukkaset eivät törmää toisiinsa ja että hiukkaset törmäävät täysin elastisesti säiliön seinämiin, johda Boylen laki

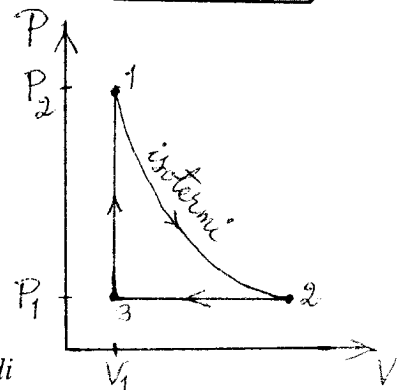
$$PV = \frac{2}{3}U,$$

missä P on paine ja sisäinen energia $U = N \left\langle \frac{1}{2}mv^2 \right\rangle = \text{vakio}$.



Kuva 4

5. Tarkastellaan kuvan 5 mukaista ideaalikaasun kiertoprosessia $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$. Laske ideaalikaasun tekemä työ yhden syklin aikana lausuttuna paineitten P_1 ja P_2 sekä tilavuuden V_1 avulla.



Kuva 5