Fremtiden

Mange af de emner, som denne artikel har berørt, vil også i fremtiden have stor bevågenhed. “Science diplomacy” vil i den nuværende situation med de genopståede øst-vest-spændinger utvivlsomt komme til at spille en afgørende rolle for genetableringen af den gensidige troværdighed. På samme måde som CERN gjorde det i efterkrigstidens Europa. På den videnskabelige front er arbejdet langt fra gjort færdigt. Vi ved, at Standardmodellen ikke er hele sandheden. Den forklarer fx ikke det mørke stof og mørk energi, der udgør henved 95 % af alt stof i universet. Den forklarer heller ikke, hvorfor der ikke er lige så meget antistof som stof i universet. Det er et faktum, som vi kan være glade for, men som ikke er forstået ud fra Standardmodellen. Og så giver den oplagt forkerte svar, når man lader den beskrive ekstremt høje energitætheder, fx at det er mere end 100 % sikkert, at visse processer finder sted i det tidlige univers. Og så mangler vi helt at forstå tyngdekraften ud fra Standardmodellens begrebsapparat. Der er nok at tage fat på, og Niels Bohr Institutet er en del af fremtiden, både inden for partikelfysik og astronomi og altid både med bidrag til eksperimenter og observationer på den ene side og teoridannelse på den anden.

Litteratur

[1] https://home.cern/science/accelerators

[2] https://home.cern/science/experiments

[3] https://home.cern/science/physics/standard-model

[4] https://fysikleksikon.nbi.ku.dk/s/standardmodellen

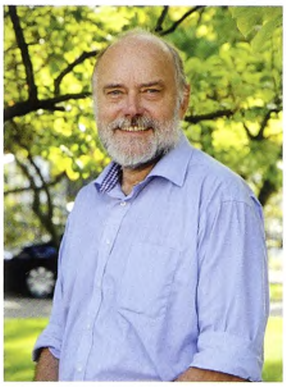
[5] https://home.cern/science/experiments/ua2

[6] https://home.cern/science/experiments/aleph

[7] https://home.cern/science/experiments/delphi

[8] https://home.cern/science/experiments/atlas

[9] https://home.cern/science/experiments/alice



John Renner Hansen er lic.scient. og professor i eksperimentel partikelfysik ved Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet. Han har bidraget til CERN-eksperimenterne UA2, ALEPH og ATLAS

Lodret frit fald
– breddeopgave 96 og 97 med didaktisk kommentar

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, INM, RUC.

Mit formål med artikelserien om breddeopgaver er – udover at gøre opmærksom på RUCs fysikuddannelse – dobbelt: Dels udvælger jeg opgaverne, så de kan have interesse som fysikproblemer i egen ret. Dels udvælger jeg dem med henblik på at kunne knytte didaktiske overvejelser til dem af interesse for fysikundervisere. I første omgang i forhold til universitetsundervisning. Men i anden omgang kunne der måske også trækkes paralleller til andre undervisningsniveauer.

Her bringes løsninger og kommentar til opgaverne fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaverne i sidste nummer af Kvant var disse breddeopgaver (nr. 96 og 97 i rækken her i Kvant):

Breddeopgave 96 og 97. Lodret frit fald

Ifølge Galilei skulle Aristoteles have ment, at en sten, tabt fra toppen af masten på et skib i fart, vil lande et stykke henne ad dækket, hvorimod Galilei var sikker på, at stenen lander for foden af masten. Er afstanden imellem de to formodede landingssteder til at konstatere? Begrund svaret.

På grund af Jordens rotation om sin egen akse falder en tabt sten fra det ca. 100 m høje rådhustårn i København ikke lodret ned til tårnets fod, selvom den ikke fik noget sidelæns skub, da den blev tabt. Hvorfor det? Kan det måles? Begrund svarene.

Løsninger

Hvad angår den første opgave, vil en tabt sten ifølge Aristoteles søge direkte imod sit “naturlige sted” ved i forhold til Jorden at bevæge sig lodret nedad. Da skibet samtidigt bevæger sig i vandret retning, vil stenen lande et stykke henne ad dækket. Men ifølge Galilei og inertiens lov vil stenen blive ved med at have skibets vandrette hastighed under dens fald, som derfor sker langs med masten til dens fod.

Hvis vi kalder mastens højde h, skibets fart v og tyngdefeltstyrken g, giver nutidens måde at regne på $h = \frac{1}{2}gt^2$, dvs $t = \sqrt{2h/g}$ for tiden, det tager stenen at falde. Ifølge Aristoteles er stykket, stenen lander henne ad dækket, derfor givet ved:

$$d = vt = v\sqrt{2h/g} \tag{1}$$

Indsættes $h = 10$ m, $g = 10$ m/s^2 og $v = 20$ km/time i formlen, fås $d \approx 8$ m. Altså noget, der synes at skulle være til at konstatere selv på Aristoteles' tid.

I den anden opgave er det Corioliskraften, $2m\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{\omega}$, der er årsag til den vandrette bevægelse i forhold til rådhustårn og rådhusplads. Her står m for stenens masse, $\boldsymbol{v}$ dens hastighed og $\boldsymbol{\omega}$ vinkelhastigheden af Jordens rotation. Opdeles $\boldsymbol{\omega}$ i en lodret og vandret komposant i forhold til Rådhuspladsen, $\boldsymbol{\omega} = \boldsymbol{\omega}_v + \boldsymbol{\omega}_l$, har vi $\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{\omega} = \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{\omega}_v$, da $\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{\omega}_l$ praktisk taget er nul, fordi stenen, bortset fra den lille afvigelse, vi er på sporet af, bevæger sig efter lodlinjen. Da $\boldsymbol{\omega}_v$ er rettet imod nord og $\boldsymbol{v}$ helt dominerende nedad, er $\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{\omega}$ rettet imod øst. Det er derfor på østsiden af rådhustårnet, at et tænkt forsøg bedst udføres. Vi kalder komposanten af $\boldsymbol{v}$ langs lodlinjen for v_y og komposanten vinkelret herpå rettet imod øst for v_x. Idet størrelsen af den øst-rettede Corioliskraft da er $2mv_y\omega\cos\varphi$, hvor φ er Københavns breddegrad, har vi for stenens bevægelse imod Rådhuspladsen:

$$m\dot{v_y} = mg \tag{2}$$

$$m\dot{v_x} = 2mv_y\omega\cos\varphi \tag{3}$$

Integration af ligning (2) giver $v_y(t) = gt$, idet $v_y(0) = 0$. Integration af ligning (3), efter indsættelse af dette i den, giver da $\dot{x} = v_x(t) = gt^2\omega\cos\varphi$, idet $v_x(0) = 0$. Ved endnu en integration fås så $x(t) = \frac{1}{3}gt^3\omega\cos\varphi$, idet $x(0) = 0$. Med brug af betegnelsen t_1 for faldtiden gennem rådhustårnets højde h fås for afstanden d fra tårnets fod, hvor stenen lander:

$$d = \frac{1}{3}t_1^3 g\omega\cos\varphi \tag{4}$$

Indsættes $t_1 = \sqrt{2h/g}$ med $g = 10$ m/s^2 og $h = 100$ m samt $\omega = 2\pi/24$ timer, og $\cos\varphi \approx \frac{1}{2}$, fås $d \approx 1$ cm. Det kunne nok ikke observeres på Aristoteles' eller Galileis tid. Men måske nu om dage?

Kommentar

Man kan undre sig over, at Aristoteles' påstand, om hvor en tabt sten fra toppen af en skibsmast vil falde på dækket, kunne stå til troende i to årtusinder. Med vore dages synsvinkel forekommer en afstand på 8 m at være svær at overse. Men i perioden har systematisk erfaringsindsamling og eksperimenter ikke været gængs. Det er først med Galilei og ligesindede, at der udvikledes en eksperimentel videnskabskultur beslægtet med vore dages. Galilei selv var en foregangsmand ved at anse "naturens bog for at være skrevet i matematik", men også foregangsmand ved at samle erfaring systematisk via eksperimenter til udledning af de matematiske love i naturens bog. Hvorimod Aristoteles med følgere uddrog almene love som sammenfatninger af hverdagserfaringer, som de forelå umiddelbart. Og iagttagelsen af de 8 m har åbenbart skulle hentes fra en mere tilrettelagt forsøgsopstilling end fra et skib i bølgegang, hvor de 8 m ikke er blevet noteret i to årtusinder.

Nu om dage er formel (1) afgørende hverdagserfaring for bombeflyvere. Indsættelse af $v = 800$ km/time, $h = 50$ m og $g = 10$ m/s^2 i formlen, giver således $d \approx 700$ m, som ikke er til at overse. Jeg har ikke undersøgt og kender ikke til erfaringsmæssig efterprøvning af formel (4). De eksperimentelle udfordringer er noget større end ved efterprøvningen af formel (1). Med h øget fra 100 m til 1 km eller 10 km, øges d ganske vist fra 1 cm til henholdsvis 31 cm og 10 m, som skulle være til at få øje på. Men ved fald fra store højder tænker jeg, at forstyrrende forhold, fx luftmodstand og det underliggende terræns påvirkning af lodlinjen, kan gøre efterprøvningen vanskelig.

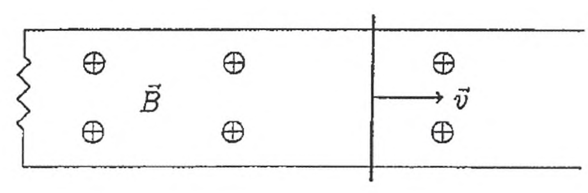
De to opgaver befinder sig i hver sin ende af spektret af breddeopgaver, den første i den lette ende, den anden i den svære. Der er ikke kun mere matematik i den anden. Den er også begrebsligt mere krævende. Opgaveformuleringen peger ganske vist i retning af centrifugalkraft og Corioliskraft. Men at indse, at centrifugalkraften kun påvirker lodlinjen, og ikke faldets afvigelse fra lodlinjen, kræver overblik.

Som nævnt i tidligere kommentarer, efterstræber vi ikke samme sværhedsgrad af opgaverne i et eksamenssæt. Blandingen af opgaver med forskellig sværhedsgrad imødekommer behovet for differentierede udfordringer til de forskellige studerende. Den traditionelle opgaveopbygning med gradvis problemklarificering gennem hjælpespørgsmål, hvor hjælpespørgsmålene udfordrer mindre end hovedsagen, tjener også behovet for differentierede udfordringer. Men vi kan ikke bruge denne opgaveopbygning i breddekurset, da vi lægger vægt på, at de studerende trænes i selv at kunne identificere fysikken i problemer beskrevet i dagligdags sprog og kunne modellere problemerne matematisk, forud for til sidst at kunne løse de således formaliserede fysikproblemer. Med en tilrettelagt rute via hjælpespørgsmål ville vi ikke levere træning i selv at stille hjælpespørgsmål.

Breddeopgave 98 og 99. Fluksreglen

Inden næste nummer af Kvant udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningerne til disse to opgaver fra breddekurset på RUC (fra eksamen juni 2010 og eksamen juni 2013, nr. 98 og 99 i rækken her i Kvant):

En metalstang trækkes mod højre på et par glatte metalskinner anbragt i et magnetfelt som antydet på figuren. Hvordan ændrer dens hastighed sig med tiden, når den slippes? Begrund svaret.



Hvordan afhænger selvinduktionskoefficienten for en spole med en given størrelse af antallet af vindinger? Begrund svaret.

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer af Kvant.