

Undervisning om energi

I FFV nr 2/07 hadde Pålgård og Callin en artikkel om hvordan fysikkbøker som brukes i skolen, definerer størrelsen arbeid. I nr 3/07 ble samme tema behandlet av undertegnede, noe som førte til kommentarer i nr 4/07 fra Pålgård og Callin og fra Øyvind Grøn. Nedenfor blir det gitt svar på disse kommentarene. Videre refereres fra et notat skrevet av professor emeritus Erik Eriksen om de emnene som har vært diskutert i bladet. Så presenteres en oversikt, satt opp i en tabell, over eksempler som har vært diskutert i bladet. Forklaring av potensiell energi og av friksjon drøftes under henvisning til eksempler i tabellen.

Svar på kommentarer i FFV nr 4/07

Jeg mente først at Pålgård og Callin hadde sett bort fra første del av den definisjonen av begrepet *arbeid* som de selv hadde referert til i Wikipedia (FFV nr 2/07) hvor det står at *arbeid er energi som overføres*. Etter at jeg leste deres *sluttmerknad* i FFV nr 4/07 forsto jeg at vi hadde snakket forbi hverandre. Jeg oppfatter det slik at *energioverføring* foregår mellom de legemene som påvirker hverandre med krefter. Dette blir i FFV nr 4/07 kalt en *snever* tolkning av betegnelsen *energioverføring (energy transfer)*.

Pålgård og Callin viser til et eksempel i det britiske læreverket *Advancing Physics* (s 216 – ikke s 116 slik det står i FFV nr 4) hvor en bil akselererer på vannrett vei. Drøftingen der av hva som skjer med energien gjøres på en måte som er i tråd med oppfatningen til Pålgård og Callin. Jeg står fast ved at deres syn fører til en sammenblanding av *energiomforming* og *energioverføring* slik jeg skrev i FFV nr 3/07. Dette mener jeg selv om Jon Ogborn (ikke Ogden slik det står i FFV nr 4/07) er redaktør for *Advancing Physics*. Han må ha fulgt dårlig med da s 216 ble skrevet.

Pålgård og Callin hevder i sarkastiske ordelag og uten noen henvisning at jeg definerer arbeid ved hjelp av det mer abstrakte begrepet energi. Det har jeg aldri ment å gjøre og jeg forstår ikke hva i min artikkel i FFV nr 3 som det siktes til.

Det er selvfølgelig riktig slik Øyvind Grøn påpeker, at en fullstendig analyse av kula på skråplanet må ha med bruken av spinnsatsen og dertil hørende begreper. Dette er også gjort i et notat jeg har fått fra *professor Erik Eriksen* ved Universitetet i Oslo. Notatet er omtalt nedenfor. For å svare Øyvind Grøn, kan jeg si at min presentasjon i FFV nr 3/07 begrenser seg til det begrepsapparatet som fysikkelever i videregående skole forutsettes å kunne bruke. Tankegangen er at i ligningen som fremkommer, blir tyngdens arbeid, $G_p s$, som altså er tilført energi, fordelt på to poster hvorav den ene er $1/2mv^2$, altså translatorisk kinetisk energi. Resten, R_s , er et energibeløp som kula må ha lagret på en eller annen måte. Hva annet kan det da være enn rotasjonsenergi?

Et notat fra Erik Eriksen

Notatet fra Erik Eriksen er tatt med som et tillegg til denne artikkelen.

Om de to modellene skriver Eriksen:

En krafts angrepspunkt er et viktig begrep i mange sammenhenger: Moment, arbeid, kraft og motkraft, frigjøring av system, oppdeling i indre og ytre krefter.

Det virker søkt å snakke om forskjellige "modeller" ved definisjon av arbeid. Vi bør holde oss til den definisjon som vi finner i den rasjonelle mekanikk: Arbeid = angrepspunktets forflytning gange kraften i forskyvningens retning.

Ved kraft på et legeme som kan rotere om en akse, finner man at arbeidet er lik moment gange dreievinkel. "Tyngdepunktmodellen" er ikke til stor hjelp her.

I nevnte notat viser Eriksen (på to måter) at for en kule som triller strekningen s nedover et skråplan, blir rotasjonsenergien $\frac{1}{2}I_0\omega^2 = Fs$. Her er $I_0 = 2/5mr^2$, kulas treghetsmoment om diameteren, F er den statiske friksjonen i kulas berøringspunkt med skråplanet og ω er vinkelhastigheten under rotasjonen.

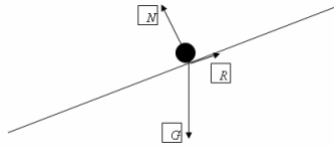
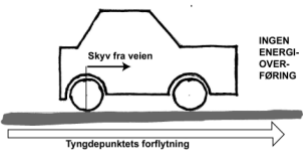
Om sammenhengen $\frac{1}{2}I_0\omega^2 = Fs$ skriver Eriksen:

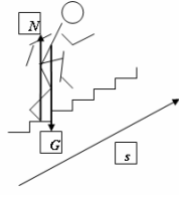
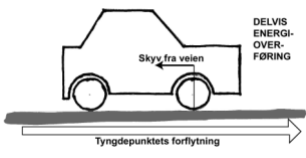
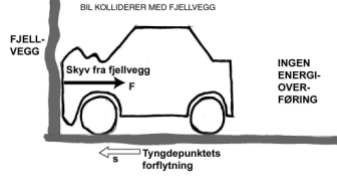
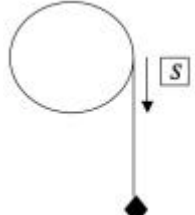
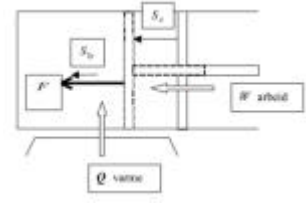
Alt dette viser interessante ting:

- Kraften virker hele tiden på et stillestående punkt på kula, så F utfører ikke noe arbeid. Men F deltar i impulsregnskapet som gir en energiligning. Her opptrer leddet Fs , som ikke betyr arbeid, men rotasjonsenergi.
- Hvordan kan Fs være rotasjonsenergi? Vi ser at F også opptrer i spinnsatsen, hvor den er ansvarlig for kulas spinn om sentrum C . Men at kula får et spinn om C betyr at den får rotasjonsenergi.
- Indirekte er F årsak til rotasjonsenergien, selv om F ikke utfører noe arbeid.

En oversikt

Nedenfor har jeg samlet en del eksempler som har forekommet i FFV's spalter i de tre siste utgavene av bladet. I tillegg har jeg tatt med et eksempel med et svinghjul og eksempel fra termofysikken. Analysen av hva som skjer med energien tar utgangspunkt i impulsloven der det er nødvendig. Energiligningene analyseres med vekt på energioverføring mellom de to objektene som vekselvirker.

Figur	Ligninger	Analyse
<p>1. Kule nedover et skråplan</p> 	<p>Impulsloven gir:</p> $(G_p - R) \cdot t = mv - 0$ <p>Av impulslikningen fåes følgende energiligning:</p> $G_p \cdot s = \frac{1}{2}mv^2 + R \cdot s$	<p>Rs er ikke arbeid, men et uttrykk for rotasjonsenergien. Tyngdefeltet leverer energi til kula gjennom tyngdens arbeid. Energien lagres som translatorisk kinetisk energi og som rotasjonsenergi. Underlagets arbeid, $W_R=0$ fordi angrepspunktet til R er momentant i ro.</p>
<p>2. Bil akselererer</p> <p>BIL ØKER FARTEN PÅ VANNRETT VEI</p> 	<p>Impulsloven gir:</p> $R \cdot t = mv - 0$ <p>Av impulslikningen fåes energiligningen:</p> $R \cdot s = \frac{1}{2}mv^2$	<p>Veien gir bilen en impuls som gjør at bilen får bevegelsesmengde. Veiens arbeid på bilen er null fordi angrepspunktet til friksjonskraften momentant er i ro. Ingen energioverføring mellom veien og bilen. Kjemisk energi i drivstoff og i lufta omformes til kinetisk energi.</p>
<p>3. Trappeløperen</p>	<p>Energioverføring mellom løperen og omgivelsene:</p>	<p>Trappas arbeid på løperen er null fordi angrepspunktet er i ro. Tyngdefeltet gjør arbeid på trappeløperen fordi</p>

	$W_N = 0$ $W_G = -mgh$	angrepspunktet beveger seg. Energi overføres fra trappeløperen til tyngdefeltet (arbeidet på løperen er negativt) der den lagres som potensiell energi
<p>4. Bil bremses med låste hjul</p> <p>BIL BREMSER MED LÅSTE HJUL</p> 	Impulsloven gir (pos retn mot høyre): $-R \cdot t = 0 - mv$ Av impulslikningen fåes etter at ligningen er ordnet: $R \cdot s = \frac{1}{2}mv^2$ Den kinetiske energien omdannes til termisk energi i friksjonsflatene.	Hjulene gjør arbeid på veien og veien gjør arbeid på hjulene mens bilen glir. Disse to arbeidene er i sum lik $R \cdot s$ og blir til termisk energi i friksjonsflatene. Denne fremstillingsmåten er diskutert nedenfor.
<p>5. Bil kolliderer med fjellvegg</p> <p>BIL KOLLIDERER MED FJELLVEGG</p> 	Impulsloven gir (pos retn mot venstre): $-F \cdot t = 0 - mv$ Av impulslikningen fåes: $F \cdot s = \frac{1}{2}mv^2$ Fs er ikke arbeid, men energi som omformes fra kinetisk energi til indre energi i bilen..	Fjellveggen gir bilen en impuls som gjør at bilen mister bevegelsesmengde. Fjellveggenes arbeid på bilen er null fordi angrepspunktet er i ro. Ingen energioverføring mellom bilen og fjellveggen. Omforming fra kinetisk energi til indre energi.
<p>6. Fallodd trekker i gang svinghjul</p> 	$W_S = S \cdot h$ er energi som overføres til hjulet. Tyngdepunktet til hjulet er i ro, så en definisjon av arbeid ved forflytning av tyngdepunktet blir meningsløst.	Snora gjør arbeid på svinghjulet fordi angrepspunktet forflytter seg i snordragets retning. Energi overføres fra snora til svinghjulet, som lagrer det som rotasjonsenergi.
<p>7. Tilstandsforandring v/konstant trykk</p> 	Stemplet skyver på gassen med konstant kraft, F . Angrepspunktet forskyves veien s_A . Stemplets arbeid på gassen: $W_F = F \cdot s_A$ Tyngdepunktet til gassen forflyttes bare halvparten angrepspunktets forflytning. Arbeidet basert på tyngdepunktmodellen blir derfor bare halvparten av den overførte energien.	Stemplet overfører energi til gassen fordi angrepspunktet forflytter seg.

Tilbake til Pålsgård og Callins definisjon på arbeid og eksemplet med kula som triller nedover skråplanet (Eksempel 1 i tabellen). Av impulsloven får vi energiligningen $G_p \cdot s - R \cdot s = \frac{1}{2}mv^2$ (1).

Tyngdepunktmodellen tolker venstre side som *samlet arbeid* på kula,

$W = W_G + W_R = G_p \cdot s - R \cdot s$ ("Arbeidet" til den statiske friksjon er her skrevet i gåsetegn.) Dette er altså lik kulas translatoriske kinetiske energi i følge ligning (1). Hva så med rotasjonsenergien? Endringen i kulas samlede kinetiske energi er jo både den translatoriske energien kula har fått og rotasjonsenergien. Hvis man holder fast ved *tyngdepunktmodellen*, må man *forkaste* at samlet arbeid på kula er lik endringen i kulas samlede kinetiske energi.

Hvis man på den annen side vil at *samlet arbeid* skal være lik endringen i kulas samlede kinetiske energi, så må man forkaste *tyngdepunktmodellen*. Da må man flytte R_s i ligning (1) over på høyre side, og tolke det som rotasjonsenergi slik det gjøres i *angrepspunktmodellen* som vist i eksempel 1 i tabellen.

Potensiell energi og friksjon

Mitt hovedanliggende med denne artikkelen og artikkelen i FFV nr 3/07 er å understreke at energiens vandring, overføring av energi fra et lager til et annet, skal være viktigere i undervisningen enn energiens former. Dette ble tatt opp Fysikklærerforeningens blad *Fysikklæreren* i 1997 (1) mens bladet enda kom i papirutgave. Senere er vi blitt klar over at britiske læreplaner allerede hadde lagt seg på samme syn. En undersøkelse av lærebøker i Storbritannia har imidlertid vist at en slik omlegging ikke er enkel. Se FFV nr 3/07. Vi skal her se på et par forhold å ta i betraktning:

Potensiell energi

Eksemplet med trappeløperen i tabellen illustrerer at energi føres ut av løperen når løperen beveger seg oppover trappa. Energien lagres altså et sted *utenfor* løperen og vi må si at den lagres i tyngdefeltet. Se FFV nr 3/07. Spørsmålet om hvor den potensielle energien er lagret ble også tatt opp i *Fysikklæreren* i 1996 (2) og ble debattert i påfølgende utgaver av bladet. Enkelte lærebøker har dette med, men det vanlige er at lærebøkene ikke legger vekt på hvor energien er lagret.

Friksjon

Eksempel 4 i tabellen om bilen som bremser med låste hjul, er løst med utgangspunkt i impulsloven fordi friksjonen som bremser bilen, ikke overfører energien fullstendig til veien. Det er derfor ikke konsistent å si at $-R_s$ er det arbeid veien gjør på bilen. Øgrim tar opp dette spørsmålet i *Mekanisk fysikk* (3). I tillegg til Øgrim har jeg funnet en eneste lærebok som behandler dette problemet. I *Hecht* (4) står det: *På et makroskopisk nivå behandler vi friksjonskraften som om den var kontinuerlig (continuous), og den frister oss til å anta at arbeidet som gjøres på klossen av F_f når klossen beveger seg et stykke s , er ganske enkelt $W_f = -F_f s$, men det er det ikke!* Deretter følger en forklaring om at på grunn av mikroskopiske forskyvninger, gjør underlaget og klossen gjensidige arbeider på hverandre. Det heter videre: *Vi kan ikke på noen måte beregne det arbeidet som friksjonen gjør bare på klossen.*

Hecht ønsker altså å reservere ordet *arbeid* bare for energi som *overføres*. Det ville være en pedagogisk gevinst å få det til.

For å supplere referansen til Hecht ovenfor, ønsker jeg å tilføye for egen regning: Klossen varmes opp og energien som tilføres skjer ved det arbeid underlaget gjør på klossen. Underlaget varmes opp og energien som tilføres skjer ved det arbeid klossen gjør på underlaget. De to arbeidene er i sum lik det som vanligvis kalles friksjonsarbeidet. Når man ser slik på det, må begge disse to arbeidene betraktes som *positive*. Dette i motsetning til at friksjonsarbeidet vanligvis fremstilles som *negativt*.

Pupils should be taught that energy can be transferred and stored står det i *National Curriculum* (UK1995) (5) Hvis dette skal være en rettesnor, har lærebokforfatterne en utfordring. Da må det utvikles uttrykksformer som er konsistente med hvordan begrepene defineres. La formuleringene i høyre kolonne i tabellen være et bidrag til dette.

Referanser:

1. G. Arge og H. Theisen: Energioverføringer er viktigst, Fysikklæreren nr 2(1997)
2. G. Arge, J. Døhl og H. Theisen: Potensiell energi i tyngdefeltet – til forvirring i undervisningen, Fysikklæreren nr 2(1996)
3. O. Øgrim: Mekanisk fysikk, Universitetsforlaget (1976) s 73-75
4. E. Hecht: Physics, Brooks/Cole Publishing Company (1994) p 282-283
5. Teachers transformation of innovations: the case teaching 'energy' in English secondary schools. University of Sussex (1999) p 6.