Fiktiv kraft

af John V. Petersen

kraft, som optræder i accelererede henførelsessystemer.
Newtons bevægelseslove gælder i inertialsystemer[1], dvs. systemer med jævn bevægelse i forhold til fiksstjernerne. Et **accelereret system** er ikke et inertialsystem, men Newtons love kan stadig anvendes, dersom der til de sædvanlige kræfter (naturkræfter) som fx gravitation og elektrisk tiltrækning føjes en eller flere såkaldte **fiktive kræfter**. De **skyldes** ikke noget andet legeme, men **alene systemets acceleration**.

Fiktive kræfter skal ikke forstås som en "fiktion". Man mærker dem jo. Men det er kun, når vi beskriver bevægelsen set fra det accelererede system (en bus som accelererer, en elevator som accelererer, en karrusel som roterer etc.), at vi "oplever" disse kræfter. Her må vi tage den fiktive kraft med i vore beregninger. Så det er kun for Newtons love, at disse kræfter er "fiktive". For Newtons love gælder, som sagt, ikke her i et accelereret system. Så i den forstand, **ift. definitionen af en kraft ifølge Newtons love**, er disse kræfter **fiktive**. Man kan også kalde fiktive kræfter for **ikke-Newtonske kræfter**. Fiktive kræfter har dog en vigtig lighed med gravitationskraften[2]. De er proportionale med legemets masse. (se f.eks. Jens Martin Knudsen: Elements of Newtonian Mechanics 3. ed., Springer 2002, side 108).

Eksempel 1:
Du sidder på forsædet i en bil, som bremser op. Du mærker en kraft, der skubber dig fremad mod forruden. Men det er ikke sådan en kraft, du vil opskrive ift. definitionen af en kraft, udfra Newtons love.
En **observatør**, som står ude på fortovet, vil blot se dig fortsætte fremad da bilen bremsede. Observatøren er nemlig **i Jordens inertialsystem**. Du er ikke påvirket af en kraft og vil fortsætte med en konstant hastighed, ifølge Newtons 1. lov.
Men du mærker jo, helt reelt at blive skubbet frem mod forruden. Du er nødt til at **beskrive din bevægelse**, **i** forhold til dette ikke-inertialsystem (**accelereret system**), ved at tilføje fiktive kræfter: Du har massen m og bilen accelerationen a. Retningen af a er modsat bevægelsesretningen, da bilen bremser. Så er den fiktive kraft $F_f = -m \cdot a$, hvor minustegnet angiver, at kraften er rettet modsat accelerationen.
Så **beskrivelsen af bevægelsen afhænger fuldstændig af**, om du beskriver den fra inertialsystemet eller fra det accelererede system.

Eksempel 2:
Den ekstra tyngde som mærkes i en opad startende elevator (følelsen af at blive trykket ned mod gulvet i en elevator, når denne accelererer opad). Har en person massen m og elevatoren accelerationen a, er den fiktive kraft $F_f = -m \cdot a$, hvor minustegnet angiver, at kraften er rettet modsat accelerationen.

Eksempel 3:
Få en fornemmelse af et inertialsystem henholdsvis accelereret system: Du kører med et tog eller en bus. **Toget kører med en konstant hastighed**. Du står op. Du kan stå afslappet, fordi du ikke bliver skubbet bagud eller fremad af nogen kræfter. **Du befinder dig** nemlig **i et inertialsystem**, da køretøjet bevæger sig med en konstant hastighed i forhold til jorden. Der virker ingen vandrette kræfter, i bevægelsesretningen, på dig.
Nu får **toget** en fremadrettet acceleration, **sætter farten op**, og du bliver skubbet bagud af en kraft. Du **befinder dig nu i et accelereret system**, og derfor optræder der en fiktiv kraft, som her skubber dig bagud.
Hvis **toget** i stedet for **bremser**, har en bagudrettet acceleration, bliver du skubbet fremad af en fiktiv kraft. **Du oplever igen et acceleret system**.
Dette eksempel giver en nem og god erfaring af inertialsystemer i forhold til accelererede systemer. Og man oplever tydeligt at den fiktive kraft, er "virkelig."
Du kan endda nemt måle en tilnærmet værdi, for størrelsen af den fiktive kraft. Du kan f.eks. have en kraftmåler (Newtonmeter) med i toget. Sæt den ene ende af kraftmåleren fast på en stang eller et greb i toget, og hold fast på den anden ende af kraftmåleren. Når toget accelerer, så lad dig blot blive skubbet af kraften uden at gøre modstand. Så vil du kunne aflæse den fiktive krafts størrelse på kraftmåleren. Accelerationen skal være

konstant, for at kraften også er konstant.

I roterende henførelsessystemer som drejeskiver, loopende flyvemaskiner eller jordoverfladen er de fiktive kræfter mere komplicerede, se centrifugalkraft[3] og corioliskraft[4]. De fiktive kræfter har bl.a. indflydelse på tidevandet[5] (høj- og lavvande).

NOTER:

1. inertialsystem, (1. led afledn. af inerti), referencesystem for rum og tid, hvori inertiens lov gælder. Enhver genstand, der er upåvirket af ydre kræfter, vil således i forhold til inertialsystemet bevæge sig jævnt og retlinjet. Inertialsystemer benyttes til at fastlægge rumtidskoordinater, dvs. sammenhørende værdier for position og tid, for begivenheder, fx sammenstød mellem partikler. To inertialsystemer vil altid bevæge sig jævnt og retlinjet i forhold til hinanden.

2. Gravitationskraft, gravitationen mellem to legemer afhænger kun af deres masser og afstanden mellem dem. Loven om denne sammenhæng, gravitations- eller tyngdeloven, blev formuleret i 1666 af Isaac Newton. Betegnes de to legemers masser med M_1 og M_2 og den indbyrdes afstand med R, er gravitationskraften F mellem dem:
$F = G \cdot \dfrac{M_1 \cdot M_2}{R^2}$, hvor G er en naturkonstant, der kaldes Newtons konstant eller gravitationskonstanten. Den blev først målt i 1798 af Henry Cavendish. Dens værdi er 6,67·10-11 $\dfrac{m^3}{s^2 \cdot kg}$.

Hvis $M_1 = m$ er en masse tæt på jordoverfladen, og M_2 er jordens masse, er $F = m \cdot g$, hvor $g = \dfrac{G \cdot M_2}{R^2}$. R er jordens radius.

3. centrifugalkraft, kraft, som optræder i et roterende henførelsessystem. På en drejeskive oplever man centrifugalkraften som en fra centrum udadrettet kraft. Gnidningskraften mod skiven leverer den for bevægelsen nødvendige centripetalkraft. Er den stor nok, ophæver den centrifugalkraften; i modsat fald slynges man af. Centrifugalkraften er en fiktiv kraft, som ikke skyldes noget andet legeme, men alene at henførelsessystemet roterer. For en masse m, der befinder sig afstanden r fra rotationsaksen, i et roterende system med vinkelhastigheden ω, er centrifugalkraften på vektorform: $\boldsymbol{F}_{cf} = -m \cdot \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{r})$. Ved f.eks. en cirkulær rotation om en rotationsakse, er størrelsen af centrifugalkraften: $F_{cf} = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot \dfrac{v^2}{r}$. v er den tangentielle hastighed. Da $\boldsymbol{\omega} \perp \boldsymbol{r}$ og $\boldsymbol{\omega} \perp (\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{r}) = \boldsymbol{v}$ og derfor $\sin(\boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{r}) = \sin(\boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{r}) = 1$.

4. corioliskraft, (efter den franske ingeniør og matematiker C. G. de Coriolis, 1792-1843), fiktiv kraft, som virker ved bevægelse i et roterende henførelsessystem, fx ved bevægelse på Jordens overflade. Corioliskraften er vinkelret både på massens relative hastighed i det roterende system og på systemets omdrejningsakse. Roterer systemet mod uret, vil corioliskraften ved bevægelse i systemet således opleves som en kraft, der hele tiden trækker mod højre; roterer systemet med uret, trækker corioliskraften mod venstre.

Corioliskraften er bl.a. forklaringen på, at cykloner på den nordlige og sydlige halvkugle drejer hhv. mod og med uret. Og jernbaneskinner slides hurtigere på den ene side end den anden. Hvilken side afhænger af, om man befinder sig på den sydlige- eller nordlige halvkugle af Jorden. Drejningen af svingningsplanen for Foucaults pendul skyldes ligeledes corioliskraften. For en masse m, der bevæger sig med hastigheden v i et roterende system med vinkelhastigheden ω, er corioliskraften på vektorform: $\boldsymbol{F}_{co} = -2 \cdot m \cdot \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{v}$.

5. Drivkræfterne bag tidevand: Fra de tidligste tider har man været klar over, at tidevandet er knyttet til Solens og

Månens bevægelser. Jord-Måne-systemet udgør tilsammen et enkelt, bevægeligt system, der roterer omkring et fælles massemidtpunkt i rummet. Denne rotation har en periode på 27,3 døgn (den sideriske omløbstid). Jord-Måne-systemet er overordnet kraftmæssigt i balance, idet den indbyrdes massetiltrækning opvejes af centrifugalkraften fra rotationen om det fælles massemidtpunkt. Mens centrifugalkraften er lige stor i alle punkter på Jorden, afhænger Månens tiltrækningskraft både af dens masse og dens afstand fra Jorden. Da afstanden til Månen ikke er den samme overalt på Jorden, oplever det punkt på Jorden, der er tættest på himmellegemet, den største massetiltrækning, og det punkt, der er længst væk, den mindste. Variationen er i alt ca. ±3%. I ethvert punkt på jordoverfladen vil der derfor være en lille forskel mellem centrifugalkraften og massetiltrækningen. Denne forskel skaber tidevandet. I punkterne på den halvdel af jordoverfladen, der vender mod Månen, hvor massetiltrækningskraften er større end centrifugalkraften, er tidevandskraften rettet mod denne; på den halvdel af Jorden, der vender væk fra Månen, hvor centrifugalkraften er større end massetiltrækningskraften, er tidevandskraften til gengæld rettet modsat. I begge tilfælde medfører dette højvande. I ligevægtstilstanden dannes altså to "vandpukler" på Jordens overflade. Disse drejer rundt om Jorden i samme takt, som Månen drejer rundt om Jorden, dvs. med en periode på 27,3 døgn. Men Jorden drejer også rundt om sin egen akse i løbet af 24 timer. I løbet af denne periode har Månen bevæget sig et lille stykke i sin bane om Jorden, hvorfor Jorden må dreje endnu et lille stykke for at komme i samme stilling i forhold til Månen. Denne yderligere drejning varer 50 minutter, således at den samlede periode bliver 24 timer og 50 minutter. Pga. Månens rotation om Jorden forekommer høj- og lavvande således ikke på samme tidspunkt på dagen, men med en tidsforskydning på 50 minutter fra dag til dag.

For en nærmere fysisk beskrivelse, se f.eks. Jens Martin Knudsen: Elements of Newtonian Mechanics 3. ed., Springer 2002, side 121 - 126.