

Fra Fysikkens Verden

NR.2 – 2023
85. ÅRGANG

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP



Tidskrystaller

Hva de er og hva de kan brukes til

Les også om:

- Masse
- Flaters krumning
- Atwood-maskin
- Kronikk: Karakterer og opptak

NR.2 – 2023

85. ÅRGANG

Utgiver:

Norsk Fysisk Selskap
www.norskfysisk.no

Redaktør:

Professor emeritus Øyvind Grøn
OsloMet – Storbyuniversitetet og UiO
oyvind.gron.no@gmail.com

Professor emeritus Carl Angell
UiO
carl.angell@fys.uio.no

Redaksjonssekretær:

Maria Hammerstrøm
maria.hammerstrom@astro.uio.no

Redaksjonskomité:

Professor Odd-Erik Garcia, Institutt for fysikk, UiT
Professor Ellen K. Henriksen, Fysisk institutt, UiO
Førsteamanuensis Trygve Buanes, Institutt for datateknologi,
elektroteknologi og realfag, HVL

Layout og sats:

Maria Hammerstrøm

Forsidebilde:

Google Quantum AI

Trykkeri:

Oslo Sats, repro og montasje A/S

Abonnere:

Fra Fysikkens Verden kommer ut fire ganger årlig.
Abonnement tegnes på følgende postadresse
eller e-post:

Fra Fysikkens Verden
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo

E-post: nfs.styret@gmail.com

Årsabonnement: 200 kr. (studenter 100 kr.)
Bankgiro: 7878.06.03258

Retningslinjer for bidragsytere

Fra Fysikkens Verden (FFV) utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler.

Frist: Bladet gis ut fire ganger i året: mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er: 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er for tiden 1200.

Formål: Formålet med *FFV* er å gi informasjon om aktuelle tema og hendiger innen fysikk, og å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker *FFV* å være til hjelp for elever og lærere i videregående skole og andre undervisningsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på norsk og på en lett forståelig måte. Faguttrykk må defineres. En verbal form er oftest å foretrekke fremfor matematikk. Men det må brukes standard begreper og enheter. Matematikken må være forståelig for fysikkstudenter. Artiklene i *FFV* skal primært gi informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare forstås av en liten faggruppe har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redaksjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

Filformat: Manuskripter leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal levers elektronisk som e-post, og i et rent tekstformat (for eksempel Word), slik at redaksjonen kan redigere teksten direkte. Dersom manuskriptet inneholder matematiske ligninger, skal manuskriptet også leveres som PDF.

Lengde: Artikler bør ikke være lengre enn seks sider med trykt tekst og figurer. Større avsnitt i teksten bør markeres med undertitler. Unngå fotnoter. Referanser kreves ikke, men det er ønskelig med en liste over lett tilgjengelig tilleggsstoff.

Småstykker: Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møtetreferater og lignende mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

Illustrasjoner: Legg mye omtanke i figurer, ettersom de er en viktig del av en artikkel. All figurtekst skal være på norsk. Figurene bør være av god oppløsning. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

Korrektur: Forfatterne får tilsendt korrektur når layout er satt opp som må returneres snarest. Det må ikke gjøres unødige endringer i korrekturane.

Innhold

Fra redaktørene Øyvind G. Grøn	27
Invitasjon til Fysikermøtet 2023 i Bergen	28

Fysikknytt

Nye LIGO-observasjoner er i gang Øyvind G. Grøn	28
---	----

Artikler

Tidskrystaller Øyvind G. Grøn	30
Sophie Germain og beskrivelsen av flaters krumning Øyvind G. Grøn	34
Demonstrasjon av forskjellen mellom tung og treg masse Tor Hjalmar Johannessen	37
Atwood-maskin Per Eilif Thorvaldsen	38

Innlegg

Kronikk: Hva er egentlig poenget med videregående skole? Kaja Nordby	40
Bokomtale: Har du draget? En lettfattelig innføring i klassisk mekanikk Carl Angell	42

Personomtaler

Nye doktorer	45
--------------	----

FRA REDAKTØRENE

Jeg vil først av alt ønske professor emeritus Carl Angell velkommen som medredaktør i *Fra Fysikkens Verden*. Jeg har tidligere arbeidet sammen med professor Angell om etterutdanningskurs for fysikklektorer. Det har alltid vært en glede. Han har entusiasme og initiativ.

I dette nummeret har vi blant annet en bokanmeldelse skrevet av Carl Angell. Boka er en innføring i klassisk mekanikk og er skrevet for studenter, men deler av boka kan også være interessant for elever i den videregående skolen. Bokens forfatter, Per Eilif Thorvaldsen, presenterer for øvrig Atwood-maskinen i en artig artikkel. Vi har også en kronikk der Kaja Nordby argumenterer for å beholde ordningen med tilleggs-poeng og muligheten for å forbedre karakterer som vi har i dagens vitnemålsystem i videregående skole. Vi håper de gode poengene hun har her, rekker frem til dem som skal bestemme hvordan dette systemet skal være de neste årene. En liten skolefysikkartikkel er Tor Hjalmar Johannessens presentasjon av et demonstrasjonsforsøk til å vise hvordan masse kan opptre på forskjellige måter som tung og treg masse.

Leserne vil også finne en historisk artikkel om en tidlig kvinnelig pioner i matematikk og fysikk, Sophie Germain. Vi ønsker i de neste numrene å presentere flere kvinnelige fysikere og astronomer siden det har vært vanskelig for dem å få relevant utdanning og stilling på grunn av tidligere tiders kvinnediskriminering.

Artikkelen om tidskrystaller er et eksempel på presentasjon av et forskningsområde som nå er i rask utvikling og som har potensial til å få viktige praktiske anvendelser.

Til slutt må det nevnes at vi presenterer nye doktorander i dette nummeret. Dette er noe vi ønsker å fortsette med, og vi ber veiledere om å sende omtaler av sine doktorander til *FFV*.



Øyvind G. Grøn



Carl Angell



Invitasjon til Fysikermøtet 2023 i Bergen

Norsk Fysisk Selskap og Institutt for fysikk og teknologi ved Universitetet i Bergen inviterer til Fysikermøte 2023 i vakre Bergen 9.-11. august 2023.

Fysikermøtet arrangeres annethvert år for norske fysikere i akademisk, industri og videregående skoler.

Informasjon om program og påmeldingsskjema finner du på nettsiden for Fysikermøtet 2023.

Parallellsesjoner for faggrupper og fysikkundervisning: Alle er velkomne til å sende inn abstracts for presentasjon på parallellsesjoner. Abstract blir videresendt til faggruppene i Norsk Fysisk Selskap som er med å sette opp parallellsesjonene.

Inviterte plenumsforedrag: Torkild Jemterud fra Abels tårn om formidling av fag, Camilla Stokkevåg om fysikk og protonterapi, Dhayan Velauthapillai om solenergi, Erlend Magnus Viggan om lyd fra vibrerende overflater, Magdalena Kersting om undervisning i fysikk, med flere.

Det blir også paneldebatt om kjerneenergi som energikilde med inviterte innledere.

Praktisk: Fysikermøtet 2023 vil holdes på Vitensenteret i Bergen. Påmeldingsfrist for redusert konferanseavgift er 1. juni. Siste påmeldingsfrist er 1. august. Meld deg på!

Velkommen!

Hilsen arrangementskomiteen ved IFT

Nye LIGO-observasjoner er i gang

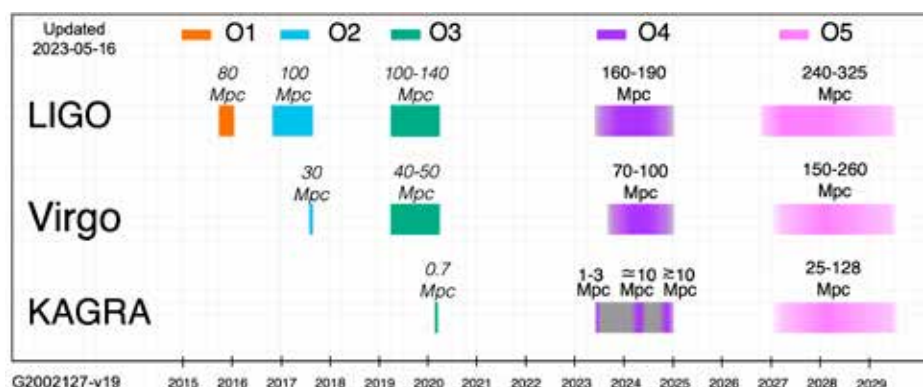
Etter tre år med oppgraderinger startet LIGO-Virgo-KAGRA 24. mai 2023 den fjerde perioden med observasjoner av gravitasjonsbølger.

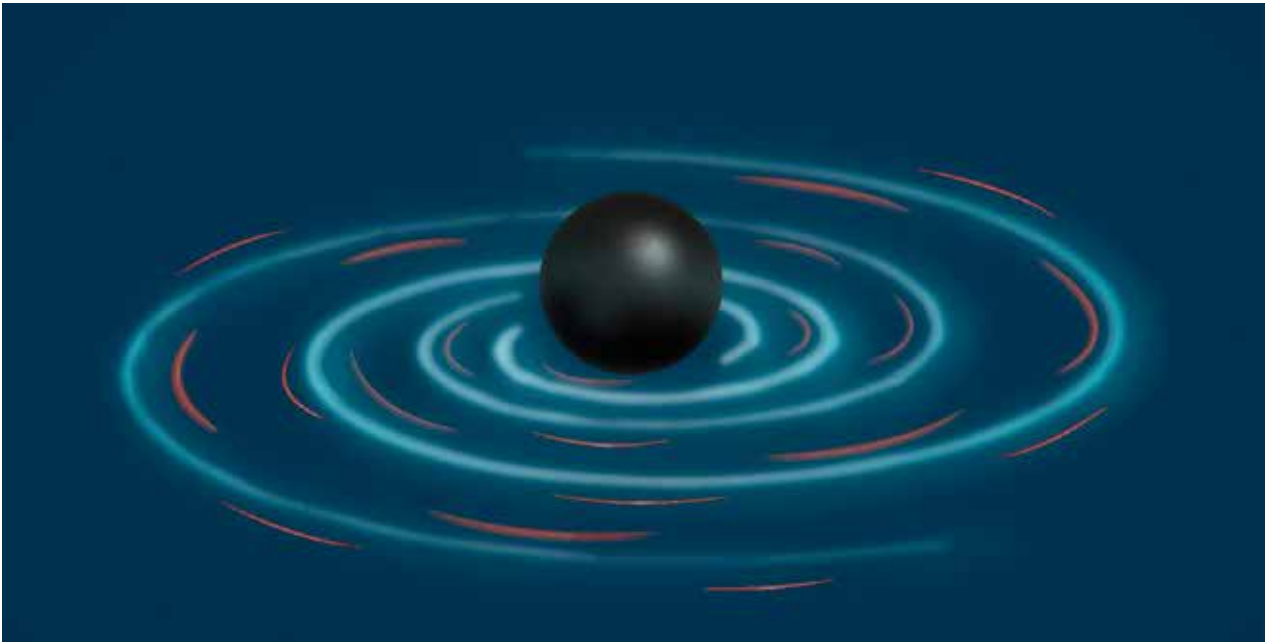
Øyvind G. Grøn OsloMet – Storbyuniversitetet

De tre årene med oppgradering av LIGO har i hovedsak vært brukt til å redusere bakgrunnsstøyen i detektorene. Tester har vist at dette har ført til en dobling av følsomheten. Dette vil gi tydeligere signaler når gravitasjonsbølger passerer detektoren, slik at LIGO vil kunne registrere svakere signaler enn

tidligere. Dette betyr blant annet at LIGO nå kan registrere gravitasjonsbølger fra kollisjoner som har skjedd i større avstander enn man kunne registrere bølger fra før oppgraderingen. Nå er LIGO i stand til å registrere gravitasjonsbølger fra kollisjoner av to nøytronstjerner som har skjedd opp til omtrent 500

Figur 1. Tabellen [1] viser observasjonsperiodene til LIGO, Virgo og KAGRA, samt avstandene til de fjerneste kildene av gravitasjonsbølger fra kollisjoner av to nøytronstjerner. Avstandene er gitt i megaparsek, Mpc (mega: millioner). Ved å multiplisere med 3,26 fås avstandene i millioner lysår.





Figur 2. Illustrasjon [2] av gravitasjonsbølger sendt ut i den såkalt ringdown-fasen av et nydannet svart hull.

millioner lysår fra jorda. Når svarte hull med større masse enn nøytronstjernene deltar i en kollisjon, kan gravitasjonsbølgene fra kollisjonen registreres i enda større avstand.

Den kommende observasjonsperioden er den første der LIGO akkompagneres av både Virgo i Italia og KAGRA i Japan. Dette vil bedre lokaliseringen av bølgenes kilder. Rekkevidden av observasjonene og observasjonsperiodene er vist i Figur 1.

LIGO består av to detektorer i USA – én i Hanford på vestkysten av USA og én i Livingston på østkysten, Virgo er i Italia og KAGRA i Japan. I skrivende stund (28. mai) er LIGO Hanford 'down' og LIGO Livingston 'observing'.

Denne fjerde runden med observasjoner er planlagt å vare i 20 måneder. Den økte følsomheten etter oppgraderingene vil gjøre det mulig å gjennomføre nye tester av relativitetsteorien. Det har også vært en oppgradering av dataprogrammene som brukes til å finne spor av gravitasjonsbølger i den store mengden av observasjonsdata.

Tidligere har det vært mye fokus på den fasen der et binært system med to svarte hull, eller en nøytronstjerne og et svart hull, går i spiralbane mot hverandre og så kolliderer. I den kommende observasjonsperioden vil det bli mer fokus på den såkalte 'ringdown-fasen', der det svarte hullet som dannes i kollisjonen har periodiske svingninger før det ender opp i en stabil tilstand som et roterende svart hull. I ringdown-fasen sendes det ut gravitasjonsbølger (Figur 2).

25. mai 2025 publiserte D. Li og medarbeidere en artikkel i *Physical Review X* der de undersøkte om det eksisterer observerbare forskjeller på måten et svart

hull oppfører seg i ringdown-fasen ifølge Einsteins relativitetsteori og ifølge modifiserte relativistiske gravitasjonsteorier. I denne artikkelen ble det konstruert et matematisk grunnlag for å sammenlikne konsekvenser av ulike gravitasjonsteorier for verdier av fysiske størrelser som representerer egenskaper av et svart hull under ringdown-fasen. De vil presentere slike sammenlikninger i senere artikler.

Disse sammenlikningene vil bli konfrontert med resultater oppnådd under den fjerde observasjonsrunden til LIGO-Virgo-KAGRA. Denne typen teoretiske arbeider er nødvendige for å kunne utnytte LIGO-Virgo-KAGRA-observasjonene til å gjennomføre nye tester av den generelle relativitetsteorien.

I en artikkel publisert 4. april 2023 i *Physical Review Letters* har S. Ma, L Sun og Y. Chen publisert en artikkel der de også har undersøkt ringdown-fasen til et nydannet svart hull. De presenterte en ny metode for å analysere observasjonsdataene i ringdown-fasen, slik at man kan trekke ut informasjon om massen og rotasjonshastigheten til det nydannede svarte hullet fra dataene.

Det er med andre ord spennende prosjekter på gang som kan gi oss ny innsikt i vår forståelse av universet. ■

Referanser

- [1] LIGO, Virgo and KAGRA observing run plans. <https://observing.docs.ligo.org/plan/>.
- [2] Brian Koberlein. «When black holes merge, they'll ring like a bell.» Universe Today, 26. mai 2023. www.universetoday.com/161598/when-black-holes-merge-theyll-ring-like-a-bell/.

Tidskrystaller

I 2012 publiserte F. Wilczek og A. Shapere to artikler [1,2] i *Physical Review Letters* der de introduserte fenomenet tidskrystaller. En kvantetidskrystall er et kvantisert system av partikler som kan ha en periodisk bevegelse selv i systemets grunntilstand hvor systemet har lavest energi. Temaet for denne artikkelen er å presentere kvantetidskrystaller på en kvalitativ måte.

Øyvind G. Grøn OsloMet – Storbyuniversitetet

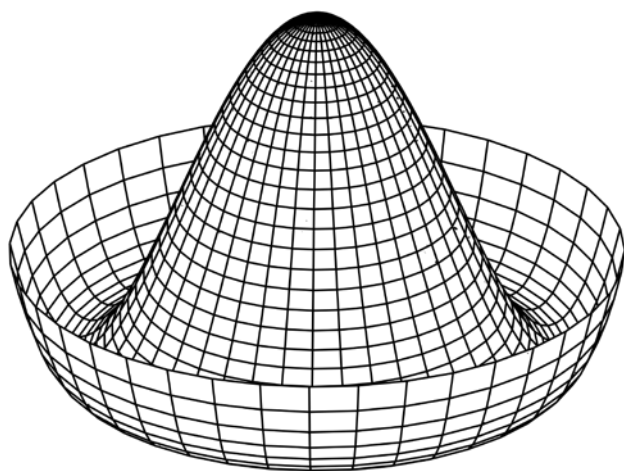
Spontane symmetribrudd i fysikken

Spontane symmetribrudd kan skje når grunntilstanden til et system er mindre symmetrisk enn den maksimale symmetrien systemet kan ha. La oss se på et eksempel. Et system består av en partikkel og et såkalt Goldstone-potensialet (Figur 1). Når partikkelen befinner seg øverst i midten, er systemet rotasjonssymmetrisk. Her er ikke systemet i grunn-

tilstanden. Systemet er i grunntilstanden når partikkelen er lavest nede i potensialets sirkulære dal. I denne tilstanden er ikke lengre systemet rotasjonssymmetrisk.

Den symmetriske likevektstilstanden med partikkelen øverst er ustabil. Partikkelen vil trille ned i den laveste ikke-symmetriske posisjonen. Dette kalles et spontant symmetribrudd. Slike spontane symmetribrudd skjer både i klassisk (ikke-kvantemekanisk) fysikk og i kvantefysikken.

Figur 1. Goldstone potensialet.



Ulike typer symmetrier

Den hyppigste manifesteringen av spontane symmetribrudd i naturen er eksistensen av krystaller. En av symmetriene som ofte opptrer i fysikken, er en kontinuerlig symmetri som kalles translasjonsinvarians – at et fenomen fortoner seg likt fra ulike posisjoner i rommet. Dette er for eksempel oppfylt i universet i stor skala (over avstander på minst en milliard lysår). Universet fortoner seg likt i stor skala for alle observatører uansett hvor i universet de befinner seg. At denne symmetrien er kontinuerlig betyr at symmetrien er bevart uansett hvor liten observatørens forflytning er.

Men i et krystall er denne symmetrien brutt. Her erstattes den kontinuerlige translasjonsinvariansen

av en diskret symmetri som avhenger av det periodiske krystallmønsteret. Krystallen ser lik ut bare for observatører som befinner seg på samme steder i krystallmønsteret, for eksempel ved de positive ionene, men ikke for observatører i andre posisjoner mellom ionene. Derfor er den kontinuerlige translasjonsinvariansen brutt, og av samme grunn kalles den romlige symmetrien til en krystall diskret.

Dette symmetribruddet kommer ikke fra en tilførsel av energi, men tvert i mot ved å trekke energi ut av et system. I tilstanden som krystall er systemet av atomer i sin laveste energitilstand.

Fysikkens lover innebærer også en translasjonsinvarians i tidretningen. Det har ikke noe å si når du gjør et eksperiment. Under gitte betingelser blir resultatet det samme uansett. Fysikerne har spekulert på om man kan lage et system som minner om et krystall, bare at det er periodisk i tidretningen i stedet for i romretningen. Et slikt system ville bryte den kontinuerlige tidstranslasjons-symmetrien.

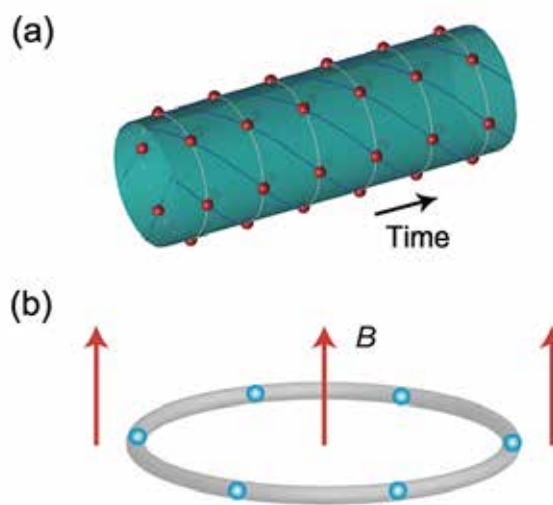
Tidskrystaller

En pendel er periodisk i tiden. Men i motsetning til et krystall befinner ikke pendelen seg permanent i sin laveste energitilstand. En tidskrystall må kombinere et brudd på kontinuerlig tidstranslasjons-symmetri med permanent å være i sin laveste energitilstand.

De to artiklene [1] og [2] har titler henholdsvis (oversatt til norsk): «Klassiske tidskrystaller» og «Kvante-tidskrystaller». Tidskrystaller kan forekomme både ifølge klassisk fysikk og kvantefysikk. De er systemer hvor den laveste energitilstanden kan ha periodiske bevegelser. I artikkelen [1] innledet Shapere og Wilczek med å skrive: «I denne artikkelen vil vi undersøke ulike temaer rundt spørsmålet om tidsuavhengige, konservative, klassiske systemer tillater bevegelse i deres laveste energitilstander». Eksemplet med Goldstone-potensialet antyder at svaret er ja, noe som underbygges i deres artikkel. Men om vi kan konstruere slike systemer, ble det ikke svart på i artikkelen til Shapere og Wilczek.

I artikkelen [2] skrev Wilczek at kanskje ingen symmetri er mer fundamental enn tids translasjons-symmetri: det at det ikke har noe å si for resultatet av et eksperiment når vi utfører det. For eksempel tester vi våre teorier mot resultater av repeterbare eksperimenter. Det grunnleggende kravet om at våre teorier skal være falsifiserbare, ville vært tomme ord dersom vi ikke hadde tids translasjonssymmetri.

Wilczek skrev videre at det er naturlig å stille spørsmålet om tids translasjonssymmetri kan



Figur 2. a) En tidskrystall har periodisk struktur både i tid og rom. Partikler arrangert på en periodisk måte i rommet roterer om en akse selv i den laveste energitilstanden i stedet for å være i ro slik vi er vant til for den laveste energitilstanden. Rotasjonen definerer en periodisitet i tid. B) En eksperimentell realisering av en tidskrystall foreslått av Li og medarbeidere [3] bruker ultrakalde ioner fanget inne i et ringformet potensial. Ionene danner en periodisk struktur i rommet. Når denne strukturen påvirkes av et magnetfelt slik at ionene beveger seg langs ringen, dannes en tidskrystall [4].

brytes spontant i kvantemekaniske systemer. Dette er spørsmålet som ble undersøkt i artikkelen [2], og Wilczek endte opp med å svare «ja» på det.

Wilczek fant at for eksempel en superledende, strømførende ring kan ha egenskaper som gjør at den minner om en tidskrystall. En laserstråle har også enkelte tidskrystall-egenskaper. Men noe mangler for at disse systemene skal oppføre seg som tidskrystaller, og det er en periodisk variasjon som bryter translasjons-symmetrien.

Kvante-tidskrystaller kalles også diskrete (atstilte) tidskrystaller. Dette er for å skjelne mellom systemer med kontinuerlige endringer av energien slik som en pendel, og kvantesystemer med adskilte energinivåer.

Wilczek presenterte et prinsippforslag for å få til dette. T. Li og medarbeidere videreførte Wilczeks ideer til et konkret forslag [3] for konstruksjon av en tidskrystall, illustrert i Figur 2.

Li og medarbeidere innledet artikkelen [3] med å skrive at hvis et system med en velordnet romlig struktur roterer vedvarende i sin laveste energitilstand, vil det reprodusere seg selv periodisk i tiden, og danner på den måten en tidskrystall analogt med en vanlig krystall. Videre skrev de at

«En tidskrystall må kombinere et brudd på
kontinuerlig tidstranslasjons-symmetri med
permanent å være i sin laveste energitilstand.»

elektroner som beveger seg rundt en superledende metallring, ikke er en kvante tidskrystall siden deres bølgefunksjoner er tidsuavhengige slik at det ikke er noe brudd på tids translasjonssymmetri.

Li et al. foreslo en metode for å skape en tidskrystall ved at berylliumioner fanges i et ring-formet elektromagnetisk potensial ved en ekstremt lav temperatur på bare noen nanokelvin. De skrev at ioner fanget i et potensial i vakuum er utsatt for en elektrisk frastøtning mellom ionene som gjør at det dannes en romlig krystallstruktur. Det innebærer et brudd på romlig translasjonssymmetri.

Den romlige krystallstrukturen kan overføres til en tilsvarende periodisk struktur i tiden ved at systemet roterer. Ionene har også indre atomære tilstander som kan utnyttes både til å kjøle dem ned til deres grunntilstand og til å observere deres rotasjonsbevegelse.

I klassisk mekanikk er ionene i ro i grunntilstanden. Men ifølge kvantemekanikken eksisterer en nullpunktenergi som innebærer at ionene kan rotere selv i grunntilstanden. Hvis ringen med roterende ioner plasseres i et magnetfelt som peker langs rotasjonsaksen, får systemet en rekke diskrete, kvantiserte energinivåer med energi som øker med styrken av magnetfeltet. Et slikt roterende kvantisert system har en periodisk struktur både romlig og i tidretningen. I en bestemt retning varierer energien periodisk og i form av kvantesprang – krystallinsk oppførsel i tidretningen.

Ionene har en sentripetalakselerasjon. Ifølge klassisk elektromagnetisme sender akselererte ladninger ut elektromagnetisk stråling. Dersom ionene hadde gjort det, ville det roterende systemet hatt kort levetid. Men kvantemekanikken sier noe annet: Siden ionene er i grunntilstanden vil de ikke sende ut elektromagnetisk stråling selv om de har en sentripetalakselerasjon. Dermed kan rotasjonsbevegelsen fortsette uten tap av energi. Alt dette betyr at systemet opptrer som en kvante-tidskrystall.

Modellen av en tidskrystall med ioner som beveger seg vedvarende i sirkelbane fanget i et potensial, kan fortone seg som en evighetsmaskin, noe som ville representert et brudd på loven om

energiens bevarelse. Men det kreves av en evighetsmaskin at den skal kunne utføre arbeid i hver syklus. Dette kan ikke denne modellen av en tidskrystall gjøre, siden den ikke er i stand til å avgi energi. Så den er ingen evighetsmaskin. Den oppfyller loven om energiens bevarelse.

I de ti årene siden eksistensen av tidskrystaller ble foreslått, har det vært en livlig diskusjon om de virkelig kan realiseres. Det ble for eksempel argumentert for at det ikke kan eksistere tidskrystaller i termisk likevekt. Argumentet er at alle fysiske observerbare egenskaper til et kvantesystem i termisk likevekt er tidsuavhengige. Så et system med egenskaper som varierer periodisk med tiden kan ikke være i termisk likevekt.

Tidskrystaller kan altså ikke være i termisk likevekt. Men det betyr ikke at de ikke kan eksistere.

Historikk

Idéen om klassiske tidskrystaller ble presentert av Alfred Shapere og Frank Wilczek 15. oktober 2012 [1] og samtidig ble idéen om kvante tidskrystaller presentert av Wilczek i en egen artikkel [2]. I samme nummer av *Physical Review Letters* presenterte Tongsang Li og medarbeidere et forslag [3], beskrevet ovenfor, til hvordan tidskrystaller kunne konstrueres. Dette fikk umiddelbart en blandet mottagelse. Den 15. oktober 2012 mottok *Phys. Rev. Lett.* en kommentar fra Patrick Bruno som ble publisert 11. mars 2013. Der argumenterte Bruno mot eksistensen av tidskrystaller. Wilczeks svar på dette ble publisert i samme nummer. Bruno fortsatte med en kommentar til [3] publisert 10. juli 2013.

Diskusjonen fortsatte med flere deltagere og 24. juni 2015 publiserte Haruki Watanabe og Masaki Oshikawa en artikkel der de viste teoretisk at det ikke kan eksistere tidskrystaller i termisk likevekt. Dette var mest alvorlig for en mulig eksistens av klassiske tidskrystaller, så den senere utviklingen fokuserte på kvante tidskrystaller.

Den 18. januar 2017 publiserte N.Y. Yao og medarbeidere en artikkel der de presenterte en ny modell for en tidskrystall: En én-dimensjonal kjede av ioner fanget i et potensial. De viste at modellen kunne rea-

«Forskerne har realisert en vedvarende tidskrystall.»

liseres med eksisterende eksperimentell teknologi og beskrev hvordan den kunne lages. Versjon 1 av et preprint om dette ble publisert 16. august 2016. Dette ble fulgt opp av to grupper av eksperimentalfysikere under ledelse av henholdsvis J. Zhang og S. Choi. De publiserte rapporter om dette arbeidet 9. mars 2017 i *Nature* [5] og [6].

Zhang og medarbeidere nevnte først at det ikke kan eksistere tidskrystaller i termisk likevekt. De fortsatte med å påpeke at det kan eksistere systemer som ikke er i termisk likevekt, og som under en periodisk påvirkning opptrer med vedvarende periodiske variasjoner slik at en bestemt tilstand av systemet gjentar seg selv med en viss frekvens. Denne nye materiefasen er kalt en diskret tidskrystall. Videre skrev de: «Vi presenterer her eksperimentell observasjon av en diskret tidskrystall i form av en kjede av atomære ioner med spinn fanget i et potensial.»

Choi et al. skrev: «Vi rapporterer om eksperimentell observasjon av diskret tidskrystall orden i en tvunget uordnet ansamling av omtrent en million dipolformete spinn-urenheter i diamant ved romtemperatur.» Dermed var det for første gang annonsert at fysikere hadde greid å konstruere tidskrystaller.

Den eksperimentelle utviklingen har fortsatt. Flere typer tidskrystaller er konstruert. Den foreløpig siste utviklingen har skjedd i et laboratorium i Hamburg under ledelse av Andreas Hemmerich, og er rapportert i en serie artikler i 2022. *Sci Tech Daily* hadde 3. juli 2022 en populær presentasjon av deres resultater. Der skriver de: «Forskere fra Institute of Laser Physics at the University of Hamburg har for første gang lykkes i å realisere en tidskrystall som spontant bryter kontinuerlig tidstranslasjonssymmetri.» De rapporterte deres observasjoner i en artikkel publisert i *Science* 9. juni 2022.

Forskjellen på disse eksperimentene og de som var gjort tidligere med å konstruere tidskrystaller, er at i alle de tidligere eksperimentene ble kontinuerlig tidstranslasjonssymmetri brutt ved hjelp av en ytre periodisk påvirkning av systemet som utgjorde tidskrystallen. Men i de nye eksperimentene ble denne symmetrien brutt spontant uten en slik ytre periodisk påvirkning.

I eksperimentet i Hamburg ble det brukt et Bose-Einstein-kondensat (en fase av et «kvantemekanisk system» ved ekstremt lav temperatur) inni et optisk bur. Det ble sendt stråling mot kondensatet og observert oscillasjoner av antall fotoner og periodiske variasjoner av tettheten av atomer i buret. Forskerne skrev at de på denne måten hadde realisert en vedvarende tidskrystall.

Mulige anvendelser av tidskrystaller

En av grunnene til at tidskrystaller er interessante, er at deres periodiske struktur i tidretningen gjør dem til klokker. De har potensiale til å fungere som små og ekstremt nøyaktige klokker.

Det har også vært spekulert på om tidskrystaller kommer til å bli en viktig ingrediens i fremtidige datamaskiner.

Både den teoretiske og eksperimentelle utforskningen av tidskrystaller er fortsatt i startfasen. Videre undersøkelser av tidskrystaller vil blant annet kunne lære oss mer om kvantesystemer som ikke er i likevekt. ■

Referanser

- [1] A. Shapere and F. Wilczek. «Classical Time Crystals.» *Phys. Rev. Lett.* 109, 160402 (2012)
- [2] F. Wilczek. «Quantum Time Crystals.» *Phys. Rev. Lett.* 109, 160401 (2012)
- [3] T. Li, Z-X. Gong, Z-Q. Yin, H. T. Quan, X. Yin, P. Zhang, L-M. Duan og X. Zhang. «Space-Time Crystals of Trapped Ions.» *Phys. Rev. Lett.* 109, 163001 (2012)
- [4] Jakub Zakrzewski. «Crystals of time.» *Physics*, 5, 116 (2012).
- [5] J. Zhang et al. «Observation of a discrete time crystal.» *Nature*, 543, 217 (2017).
- [6] S. Choi et al. «Observation of discrete time-crystalline order in a disordered dipolar many-body system.» *Nature*, 543, 221 (2017).

Husk å melde adresseendring til
nfs.styret@gmail.com



Sophie Germain og beskrivelsen av flaters krumning

I denne artikkelen presenteres Sophie Germain og hennes arbeid med å karakterisere flaters krumning – et arbeid som inspirerte til den matematiske beskrivelsen av elastiske legemer.

Øyvind G. Grøn OsloMet – Storbyuniversitetet

Sophie Germain ble født i 1776 og døde i 1831. Hun var en fransk matematiker som særlig var kjent for sitt pionerarbeid i teorien for elastisitet og for sin oppdagelse av et spesialtilfelle av Fermats siste teorem.

Germain's fascinasjon for matematikk begynte da hun var bare 13 år gammel. Som ung kvinne tidlig på 1800-tallet ble hun ikke oppmuntret til å følge sine interesser i matematikk og naturvitenskap, og hun fikk ingen utdanning i disse temaene. Germain var selvlært.

Hun studerte i det skjulte og brukte en mannlig students navn da hun sendte sine første resultater til matematikere hun beundret.

Germain og Gauss

Carl Friedrich Gauss var ett år yngre enn Sophie Germain. Da han var 21 år gammel, i 1798, skrev han på latin en lærebok i tallteori. Den leste Sophie Germain, og ble inspirert. Hun jobbet de neste årene med tallteori og innledet i 1804 en korrespondanse med Gauss under psevdonymet Antoine-August LeBlanc.

I 1806 bodde Gauss i Brunswick i Preussen. På denne tiden var Napoleons hær i konflikt med den prøyssiske hæren. Da Sophie Germain fikk vite at

Napoleons artilleri angrep blant annet Brunswick varslet hun en slektning av seg som ledet artilleriet, om at Gauss måtte beskyttes. Da Gauss ble underrettet om at en kvinne i Paris som het Germain, hadde bedt om at han måtte beskyttes, ble han overrasket for han kjente ingen kvinne i Paris med det navnet. Da slektningen til Sophie fortalte henne dette, gav hun seg til kjenne for Gauss, og skrev at hun fryktet det skulle ta seg dårlig ut at en kvinnelig forsker i matematikk skulle henvende seg til ham. Så hun hadde brukt navnet M. LeBlanc i brevene.

Gauss svarte umiddelbart og takket for at hun tok initiativ til å beskytte ham. Han skrev videre at han hadde respekt og beundring for hennes matematiske nysgjerrighet og dyktighet, og rundet av brevet med å skrive: «Når en kvinne på grunn av sitt kjønn og våre vaner og fordommer, møter uendelig mye større hindringer enn menn i å gjøre seg fortrolig med intrikate problemer, og likevel overvinner hindringene og trenger gjennom til det mest skjulte, har hun uten tvil det edleste mot, et usedvanlig talent og den største begavelse.» (Gauss til Germain, april 1807).

En fransk prisoppgave om krumning

I 1808 viste Ernst Chladni et bemerkelsesverdige eksperiment til matematikeren Pierre Simon Laplace [1]. Han tok en tynn plate og dekket den med pulver. Så fikk han den til å vibrere ved å stryke kanten av den med en stang. Dermed dannet pulveret et mønster hvor det samlet seg i knutepunktene til vibrasjonene. Slike mønstre er senere kalt *Chladni-figurer* (Figur 1).

Laplace ble fascinert og demonstrerte dette for

I en serie artikler vil jeg presentere foregangskvinner på astronomiens og fysikkens område. I tidligere kvinnediskriminerende tider arbeidet de under vanskelige forhold, men noen hadde så sterkt indre driv og begavelse at de overvant omgivelsenes fordommer og oppsto som lysende stjerner i matematikernes, astronomenes og fysikernes verden.

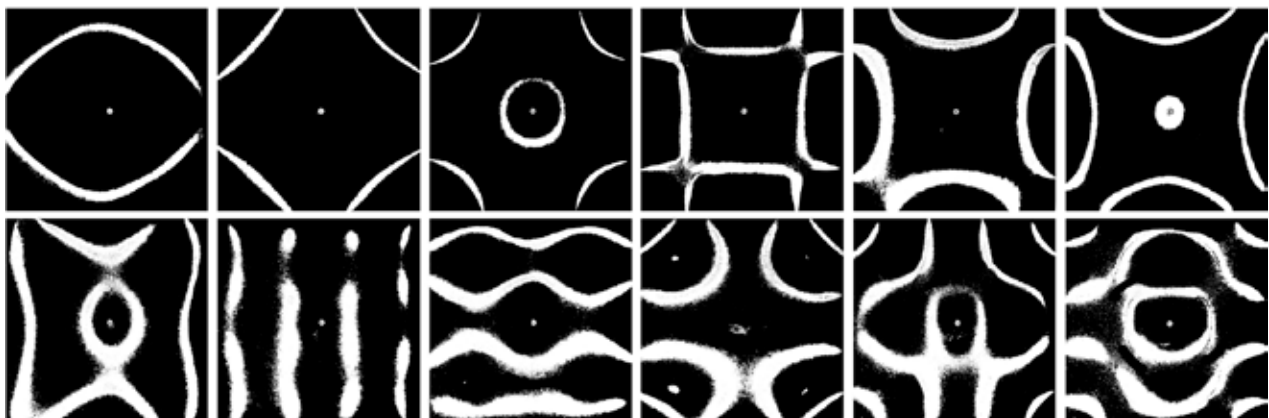
keiser Napoleon Bonaparte. Oppmuntret av Laplace ga Napoleon Det franske vitenskapsakademi, The Institute of France, beskjed om å utlyse en prisoppgave med premie 3000 Fr til den beste besvarelsen der oppgaven var å gi en matematisk analyse av vibrasjoner i tynne elastiske plater som kunne forklare Chladni-figurene. Besvarelsene skulle leveres innen utgangen av 1811. Matematikerne Laplace, Lagrange og Legendre skulle bedømme besvarelsene.

Det ble bare levert inn én besvarelse – skrevet av Sophie Germain. Den dreide seg i hovedsak om å utlede en likning med løsninger som kunne beskrive Chladni-figurer. Germain antok at vibrasjonene i platen var transverselle og dermed utløste endringer av platens overflate. Hun måtte derfor utvikle en matematisk beskrivelse av krumningen til en flate.

Fasongen til en plate er bestemt av hvordan den krummer i ethvert punkt. Dette ble beskrevet med

utgangspunkt i hvordan kurver på flaten gjennom et vilkårlig punkt P på flaten krummer, siden den matematiske beskrivelsen av krumningen til kurver var velkjent. Kurven ble representert ved en funksjon og krumningen i det vesentlige ved den andre deriverte av funksjonen.

Kurver i ulike retninger har forskjellig krumning med mindre flaten er symmetrisk. Krumningen i de retningene der den var minst og størst, ble kalt *hovedkrumningene*. Produktet av hovedkrumningene kalles den *Gaussiske krumningen* og den halve summen av hovedkrumningene (der det tas hensyn til at krumningen til kurver som krummer motsatt vei, har motsatt fortegn), kalles *den midlere krumningen*. Den gaussiske krumningen ble introdusert i en artikkel som Gauss publiserte i 1828. Der viste han at dette er en krumning som kan måles av vesener som befinner seg på flaten, uten å måtte referere til et rom



Figur 1. Chladni-figurer dannet på en kvadratisk plate med sidekant 3 cm og tykkelse 0,37 mm ved eksperimenter der platen fikk svingninger med frekvenser fra 100 Hz øverst til venstre til 650 Hz nederst til høyre. Det ble strødd salt på platen [2].

► Sophie Germain og beskrivelsen av flaters krumning



Carl Friedrich Gauss



Ernst Chladni



Joseph-Louis Lagrange



Pierre-Simon Laplace

som flaten befinner seg i. Den Gaussiske krumningen kalles derfor *den indre krumningen* til flaten.

Den midlere krumningen kan bare bestemmes med referanse til et tredimensjonalt rom som flaten befinner seg i, og kalles derfor *den ytre krumningen* til flaten. Den ble introdusert av Germain i 1811 i hennes første besvarelse av prisoppgaven. Det har derfor vært foreslått å kalle den *Germain-krumningen* [2].

Germain antok at den elastiske kraften i et punkt på platen var proporsjonal med den midlere krumningen. Fra denne antagelsen utledet hun en differensiallikning med løsninger som beskriver Chladni-figurer.

Laplace viste imidlertid at likningen til Germain ikke fulgte fra hennes antagelse. Dermed ble det ikke gitt noen prispenger for denne besvarelsen. Men det ble vedtatt å åpne for en ny runde med mulighet til å levere inn besvarelser innen utgangen av 1813.

Lagrange utledet likningen $\ddot{f} = k\nabla^4 f$ fra Germain hypotese, der funksjonen $f(t,x,y)$ representerer avviket vinkelrett på platen fra likevektposisjonen til platens overflate, og k er en konstant som avhenger av platens stivhet.

Legendre korresponderte med Germain på denne tiden blant annet om hvordan denne likningen kunne utledes fra hennes krumning-elastisitetshypotese. Men matematikken var krevende, og Germain hadde ikke nok kunnskaper til å dra full nytte av Legendre sine råd, siden hun ikke hadde fått anledning til å følge noen matematikk kurs. Hun leverte imidlertid inn en ny besvarelse på

prisoppgaven, men nok en gang ble den vurdert av juryen til ikke å være bra nok til å fortjene en pris.

Enda en gang ble det vedtatt å utlyse en ny omgang for denne prisoppgaven denne gangen med innleveringsfrist innen utgangen av 1815. Germain leverte nok en gang en besvarelse, og nå supplerte hun sine beregninger med en rapport om sine eksperimentelle undersøkelser av Chladni-figurer. Hennes utholdenhet ble belønnet, og i januar 1816 meddelte juryen at hun vant prisen.

Besvarelsene hennes ble lest av de ledende franske matematikerne og fysikerne på denne tiden, og inspirerte spesielt Siméon Denis Poisson, Joseph Fourier og Claude-Louis Navier til å utvikle teorien for elastiske legemer.

Sophie Germain var en beskjeden person. Hun uttalte at det betyr lite hvem som først får en idé. Det som betyr noe, er hvor langt idéen kan utarbeides. Hun sa også at hun var glad for at hennes idéer hadde båret frukt for vitenskapen selv om de ikke hadde fått noen merkbare betydning for hennes anseelse. ■

Referanser

- [1] Louis L. Bucciarelli og Nancy Dworsky. *Sophie Germain: An Essay in the History of the Theory of Elasticity*. Springer, 1980.
- [2] D.P. Holmes. «Germain Curvature: The Case for Naming the Mean Curvature of a Surface after Sophie Germain». Preprint 23. mars 2023. <https://arxiv.org/pdf/2303.13615.pdf>

Demonstrasjon av tilsynelatende forskjell mellom tung og treg masse

Tor Hjalmar Johannessen tidligere lektor i realfag

Er treg og tung masse det samme? Tung eller graviterende masse forårsaker gravitasjon, men treg masse gjør motstand mot å endre hastighet. Ifølge Newtons teori kan tung og treg masse være forskjellige og representere ulike egenskaper hos et legeme. Men utallige målinger har – oppsiktsvekkende nok – vist at det ikke er noen forskjell på treg og tung masse. Det betyr altså at forskjellige gjenstander med samme motstand mot akselerasjon også har samme effekt av tyngdekraften. Einstein tok konsekvensen av dette i den generelle relativitetsteorien. Ekvivalensprinsippet sier blant annet at treg og tung masse er samme egenskap hos et legeme. Denne egenskapen omtales imidlertid med forskjellige ord alt etter hvilken sammenheng den opptrer i.

Man kan i dag kjøpe pølseformede ballonger av ultratynt stoff. Ballongen blir blant annet markedsført under navnet «Solar UFO», og prisen er under 100 kr. Typiske mål kan være lengde på 2 meter, diameter på 0,5 meter og masse ca. 50 g. Alternativt kan man lage en selv av store søppelposer av tynt materiale. Klipp av bunnen og lim eller tape dem sammen, gjerne to eller flere for å få et stort volum.

Ballongen kan fylles med luft ved hjelp av for eksempel en hårføner eller vifte. Med et volum på rundt $0,5 \text{ m}^3$ vil det bli en «treg» luftmasse på over 0,5 kg, altså 10 ganger mer enn selve ballonghylsteret. Luften i ballongen følger med når den dyttes, og blir derfor hoveddelen av den trege massen. En kjøkkenvekt eller kraftmåler kan være nyttig.

Med en slik ballong kan man via egenopplevelse demonstrere treg og tung masse.

Treg masse gir seg til kjenne seg ved akselerasjon, mens tung masse kan måles på en vekt.

Fordi en fylt ballong (med 0,5 kg luft) har en oppdrift lik vekta av fortrengt luftmasse, så vil man bare føle vekta av hylsteret (50 g) når den holdes rolig i hånda. Oppdriften er lett å vise ved å veie ballongen med og uten luft. Vekten blir den samme, hvis lufttemperaturen er lik inni og utenfor ballongen.

Sett ballongen i bevegelse og stopp den med raske, men forsiktige, rykk. Den trege massen av lufta i ballongen vil da manifestere seg. Det kreves overraskende stor kraft både for å gi den en stor akselerasjon og å stoppe den raskt. Siden gravitasjonskrafta på



Figur 1. Solar UFO som varmluftballong.

Foto: sunneleker.no

luftmassen i ballongen, effektivt sett, er opphevet, er det bare den trege massen man opplever.

For å overbevise tvilerne om at det er luftmassen inni man kjenner tregheten til, så tøm ballongen for luft, og rykk det tomme hylsteret frem og tilbake. Forskjellen på en halv kg er godt merkbar. Luftmotstanden er ubetydelig ved så lav fart.

Merk: Ballongen er skjør og kan lett få rifter, så vis litt forsiktighet.

Forsøket kan brukes som innledning til Newtons lover. Det har ofte vært et problem for elevene å forstå begrepene *tung* masse (det som vises på en vekt) og *treg* masse (det som vises ved akselerasjon). Med ballongen kan man også demonstrere Newtons 1. lov ved å dytte den i gang og la den seile av gårde. Ved lav fart er det liten luftmotstand, så den går langt. ■

Atwood-maskin

Per Eilif Thorvaldsen Inst. for datateknologi, elektroteknologi og realfag, HVL

Eg kjenner det klør i englevengane. For å hjelpe studentar og andre med å forstå Newton sine lovar, har eg skrive ei ny og annleis bok i klassisk mekanikk. Ho gjev eg bort gratis. Pengar skal ikkje stå i vegen for kunnskap. Kvifor har eg gjort det? Av di eiga manglande forståing av Newtons notoriske vanskelege lover har vore eit djupt sår i fysikarsjela mi.

Kva var det som starta denne reisa inn i det ukjende? Ein sær s hyggeleg prat med ei jordmor. Ho spurde kva utdanning eg hadde. Eg vrei meg litt før eg svarte då eg ikkje ville øydelegga den gode stemninga. «Eg er fysikar». Me vert jo ofte sett på som eldre menn i rutete skjorter som gjev elevar og studentar lurespørsmål for å dupera dei. Til mi overrasking svarte ho at ho hadde elska fysikk på gymnaset, og hadde det ikkje vore for det hersens snordraget hadde ho nok vorte fysikar.

Også kona mi hata snordraget. Når eg tenker meg om, har eg enno ikkje møtt nokon som likar det. I den vidaregåande skulen har dei løyst problemet med å nesten ta det bort slik at ikkje elevane vert plaga for mykje av eigne manglande kunnskapar. Det er ikkje snordraget som er problemet, men at ein må forstå Newtons andre lov som seier at kraft er lik masse multiplisert med akselerasjon ($F = m \cdot a$). Mange trur at lova er enkel av di ho er så lett å skriva og formulera med ord.

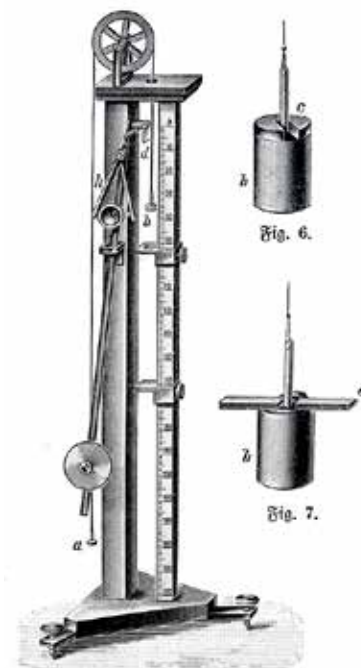
Er du klar for å læra deg Newtons andre lov? Flott, då er det berre å finne fram ei Atwood-maskin og begynne å eksperimentera. Maskina vart oppfunne av George Atwood (1745–1807) i 1784. Atwood var utdanna matematikar ved Cambridge og underviste blant anna fysikk der. Atwood si maskin er utvikla

for å demonstrere Newtons andre lov ved konstant akselerasjon. Ved jordoverflata er tyngda si akselerasjon konstant, men gjenstandar fell so snøgt at det er vanskeleg å sjå og måla endringar i posisjon og fart. Her kjem maskina til Atwood oss til hjelp ved å senka akselerasjonen på det som fell.

Maskina er sett saman av lodd forbundne med ei snor over ei trinse. Ved å avpassa lodda med kvarandre kan ein få dei til å bevega seg så sakte som ein vil. Slik kan ein noggrant måla posisjon og fart og forstå Newtons andre lov under Dewey sitt motto: «Ein trur det ikkje før ein får sjå det». Det ein ser er at konstant akselerasjon får lodda til å gå stadig snøggare. Det er slike gilde ting eg og studentane får putla på med, og i tillegg får eg betalt for å gjera dette.

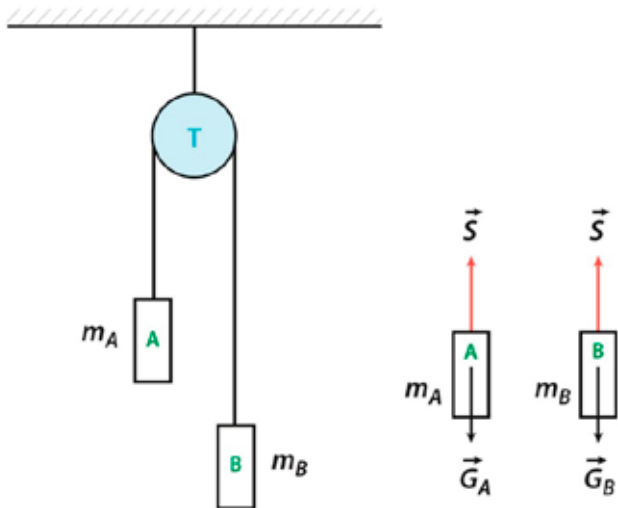
For å meistra klassisk mekanikk må ein tenka system og korleis krefter verkar innanfor og mellom system. Ser ein på eit av lodda i Atwood sin maskin, så kan ein sjå på det som eit system påverka av to ytre krefter, nemleg gravitasjonskrafta $G = m \cdot g$ og snordraget S . Liten m er masse til loddet og g er tyngdas akselerasjon. Er gravitasjonskrafta større enn snordraget vil loddet akselerera nedover, i motsett fall oppover. Dersom ein ser på heile Atwood-maskina som eit system så er det to ytre krefter som verkar – tyngdekrafta på dei to lodda. Snordraga vert no indre krefter og dei vil være like store og motsett retta ifylgje Newton sin tredje lov. Kva med trinsa og snora? Dei seiar me på ekte fysikarvis er masselause og utan friksjon. Det er dei sjølvsgd ikkje, men det gjer livet mykje lettare, og svaret me får er ikkje langt unna røynda.

No er me klare til å taka Newton sin andre lov i



Atwood sin originale fallmaskin.

Illustrasjon: Wikipedia



Stilisert Atwood-maskin til venstre og lodda teikna som system med tilhøyrande ytre kreftar til høgre.

bruk. Fyrst ut er loddet til venstre. Det er påverka av to krefter, og akselerasjonen loddet får kan uttryk- kast ved

$$m_A \cdot a = G_A - S.$$

For det andre loddet vert det eit tilsvarende uttrykk

$$m_B \cdot a = S - G_B.$$

Her er rekkefylgja for snordrag og tyngdekraft bytta om då ein antar at venstre lodd akselererer nedover og det høgre oppover.

Då har me to likningar med to ukjende og det er akselerasjonen a og snordraget S . Løyser me dei får me

$$a = [(m_A - m_B)/(m_A + m_B)] \cdot g$$

og

$$S = [2 \cdot (m_A \cdot m_B)/(m_A + m_B)] \cdot g.$$

La oss starta med likninga for akselerasjonen a . Ho fortel oss at me kan få a så liten me berre vil ved å velja loddmassar som er om lag like. Då kan me i fred og ro studera fartsending og akselerasjon og på den måten få Newton sin andre lov under huda. Dersom ein kjennar massane m_A og m_B , kan ein finna tyngda si akselerasjon ved å måla a og rekna ut g . Ein kan og more seg med å senka det fallande loddet ned i væske for å måla kor seigtflytande væska er. Snordraget kan skrivast som

$$S = mh \cdot g$$

der

$$mh = [2 \cdot (m_A \cdot m_B)/(m_A + m_B)]$$

er det såkalla harmoniske gjennomsnitt av massane m_A og m_B . Det gjennomsnittet dukkar opp fleire stader i fysikken, og her fortel det oss at gjennomsnittet er nærast den minste massen noko som gjev oss eit snordrag som er litt større enn tyngda til den minste massen.

Newton hadde jo tre lover. Kva med den første som seier at når summen av alle krefter på ein lekam er null så vil det være i ro eller rettlinja rørsle? Den er berre ein konsekvens av andre lova dersom akselerasjonen er null.

Er me så ferdig utlærd? Vel, det er litt meir og det kan du lesa om i boka mi *Har du draget?**. Likar du betre å lesa på papir, kan du få boka ved å spørja pent.

Har du lyst å læra meir klassisk mekanikk? Då er det berre å byrja å lesa og rekna.

Er det berre i fysikkundervisinga me har glede av Atwood-maskina? Nei, du brukar desse prinsippa kvar gong du tar ein heis. I ein heis er det ei motvekt som med wire over den elektriske motoren er bunde saman med stolen der passasjerane er. Masseskilnaden mellom stol og motvekt er noggrant avstemd slik at heisen brukar minst mogleg energi. Korleis ein heis er oppbygd og verkar får me ta ein annan gong. ■

* www.norskfysisk.no/filer/bok/har-du-draget.pdf



Illustrasjonsfoto: Unsplash/Scott Webb

Kronikk:

Hva er egentlig poenget med videregående skole?

Et regjeringsutvalg har foreslått å fjerne både ordningen med tilleggspoeng og muligheten for å forbedre karakterer som vi har i dagens vitnemålsystem i videregående skole. I denne artikkelen pekes det på uheldige sider ved dette forslaget, og argumenteres for at systemet med tilleggspoeng og muligheten til å forbedre karakterer, bør opprettholdes.

Kaja Nordby Leder av Norsk Fysikklærerforening

For meg, og mange andre, er poenget med videregående skole temmelig opplagt: Poenget er læring! Læring av kunnskap for å bli gode samfunnsborgere, og læring av kompetanse elevene trenger for høyere utdanning. Men det kan virke som utvalget som har kommet med forslag til nye regler for opptak til høyere utdanning, har et annet hovedpoeng.

I 2021 satte regjeringen ned et utvalg som skulle gjennomgå regelverket for opptak til høyskoler og universiteter. Målet er å få flere raskere inn i høyere utdanning. Jeg frykter at konsekvensene av utvalgets nye modell blir at læring og kompetanseheving ikke lenger vil være hovedpoenget for elever i videregående skole, og at realfagene spesielt kommer til å lide.

Vil fjerne tilleggspoengene

I forslaget foreslås fjerning av alle tilleggspoengene som fins i dagens vitnemålsystem. Poengene ble i sin tid lagt av flere forskjellige grunner, alderspoeng og poeng for folkehøyskole og førstegangstjeneste

kom til for å anerkjenne at studentene hadde lært noe og blitt mer studieforbereid av erfaringene de hadde gjort seg etter skolen, mens realfagspoengene ble lagt inn for å motivere flere til å velge realfag i videregående.

Realfagene har rykte på seg for å være mer krevende enn samfunnsfag med samme timeantall, og tilleggspoengene har bidratt til å kompensere for en antatt større arbeidsmengde eller svakere karakter.

Erfaringene fra skolen er at tilleggspoengene for realfag fungerer. De motiverer elever til å ta realfag. De motiverer kanskje ikke helt nok, når vi ser på søkertallene til Fysikk 2, men de hjelper. Et viktig poeng her er at de motiverer elever som ikke er sikre på hva de vil bli, til å ta realfagene. Poengene holder altså realfagsdøra åpen for mange elever.

Vil ta vekk muligheten for å forbedre karakterer

Et annet av utvalgets forslag er å fjerne muligheten til å forbedre karakterer. Begrunnelsen er at enkelte studier har svært høyt karaktersnitt for inntak, og at enkelte elever bruker lang tid på å forbedre karaktersnittet sitt. I stedet for å gi elevene en ny sjanse, foreslår utvalget at elever som ikke når opp, kan ta en «høyskoleprøve», som er en flervalgsprøve med innhold fra flere forskjellige fagfelt.

Det er helt uforståelig for meg at utvalget ikke ser verdien i at enkelte elever bruker tid etter videregående på å forbedre kompetansen sin, for eksempel ved å gå fra 2 til 5 i engelsk, norsk og matte. Det dreier seg ikke bare om å forbedre karakterer, men

om å forbedre kompetansen sin. Karakterene er ikke bare noe elevene skal bruke til å konkurrere om studieplasser med. Hovedpoenget med karakterer er jo å beskrive elevenes kompetanse. Og når en elev forbedrer karakteren sin i et fag, så betyr det jo at eleven har lært noe.

Utvalget foreslår digital opptaksprøve

Å erstatte muligheten til å forbedre karakterer med en standardisert opptaksprøve, mener vi er det samme som å si at forbedring av kunnskap og kompetanse i fagene i videregående skole ikke er så viktig. Alt arbeidet vi gjør i videregående skole med kompetansehevingen til elevene, i tillegg til den svært omfattende vurderingen av denne kompetansen, kan ifølge utvalget erstattes med en digital, standardisert flervalgsprøve.

Opptaksprøve gir jo også et uheldig signal til elevene: Synes du skolen er litt slitsom og vanskelig? Da er det bare å hangle seg gjennom, så kan du heller konsentrere deg om en betydelig mindre omfattende flervalgsprøve.

Både USA og Sverige har innført systemer med en opptaksprøve som sidestilles med vitnemålet fra videregående opplæring. I begge landene har de erfart at denne opptaksprøven oppfattes som en snarvei for de som ikke er toppmotiverte for skolen. Erfaringen er også at det bygges opp en ny industri rundt opplæring til denne opptaksprøven. I stedet for at elevene utvikler kompetanse i fagene det er politisk enighet om at alle samfunnsborgere bør kunne, så bruker de tid på å pugge til en flervalgsprøve.

Elever vil velge bort krevende fag

At det ikke skal være mulig å forbedre karakterer, sender også et uheldig signal til elevene om at de bør velge fag som det er lett å få god karakter i. Det nye forslaget oppmuntrer til å velge taktisk: Velg for all del bort krevende fag som kan senke karaktersnittet ditt! Trenger du realfag? Ja, da kan du heller utsette disse til etter videregående. Snittet ditt vil bli bedre om du har færre fag å konsentrere deg om. Dersom karakteren din ikke blir så god som du hadde håpet, vil den i alle fall ikke trekke snittet ned på vitnemålet om du søker på studier som ikke krever realfag.

Også dette forslaget er spesielt uheldig for realfagene! Når elevene ikke kan endre vitnemålet sitt etter videregående, blir det de får på vitnemålet desto viktigere. Da kan man ikke ta sjansen på å velge fag som har rykte på seg for å være vanskelige. De som er i tvil om hva de vil bli, kommer til å velge bort realfagene. De som skal inn på studier med høye karakterkrav og krav om realfag, kommer nok oftere til å velge å ta realfagene som privatist, bare for å sikre at realfagskarakterene ikke trekker ned snittkarakteren.

Dermed mister vi mange studenter som med det nåværende systemet hadde havnet innen realfaglige eller teknologiske studier, bare fordi de for sikkerhetsskyld valgte bort realfagene. Og hvis du ikke er helt sikker på hva du vil bli er jo terskelen for å ta realfagene som privatist etter videregående høy. Det er jo både tidkrevende og potensielt kostbart.

Det faget jeg frykter mest for i denne modellen er Fysikk 2. Det er ingen studier som krever faget, og det er regnet som et av de mest krevende i videregående skole. Men samfunnet trenger jo elever med kunnskapen og kompetansen faget gir. Det er i dette faget elevene introduseres for felt (elektriske, magnetiske og gravitasjon), de lærer om bevegelse i to dimensjoner og sirkelbevegelse, relativitetsteori og kvantefysikk. Dette er jo i seg selv interessant kunnskap, men fagets viktigste funksjon er jo at det virkelig åpner døra til alt det fantastiske og spennende man kan lære mer om innenfor fysikken.

Økt karakterpress

Det at elevene ikke kan forbedre karakterer kommer også til å skape økt press på både elever, foreldre og lærere. For elevene blir det enda viktigere å få presset karakterene så høyt opp som mulig, siden de nå kun har én sjanse. For oss lærere blir det også et større press på å være snill med karakterene. Hvis vi er i tvil om eleven skal få 4 eller 5, så må vi nesten gi 5. Konsekvensene for eleven er for store til at vi ikke kan la tvilen komme eleven til gode. Og når tvilen først begynner å skyve på karaktergrensene, har vi det gående.

Snarveien som fort blir en omvei

Så hva skal være poenget med videregående skole? Vi håper at fremtidas skole fortsatt skal handle om læring og kompetanseheving - og at elevenes mål med å gå der, er å lære så mye som mulig i fagene de trenger. Og at elevene velger fagene de faktisk trenger, ikke bare de enkleste fagene. Ikke fjern elevenes mulighet til å forbedre kompetansen sin etter videregående! La realfagspoengene fortsette å være en motivator til å velge realfag.

Det fins ingen snarvei til kunnskap og kompetanse. Det vil være en bjørnetjeneste til elevene å sende dem ut i høyere utdanning og samfunnsliv med en mye enklere bakgrunn enn dagens videregående opplæring er. Den opplagte konsekvensen er at vi blir nødt til å drive opplæring på et lavere kunnskapsnivå i høyere utdanning, eller akseptere at en større andel dropper ut. Den foreslåtte snarveien vil også lede til at alt for mange elever går glipp av mulighetene som ligger i realfagene. ■

Deler av denne artikkelen er tidligere publisert som kronikk i Aftenposten.

Bokomtale:

Per Thorvaldsen:

Har du draget?

En lettfattelig innføring i klassisk mekanikk

Den ideelle organisasjon, 2023

376 sider

Kan leses digitalt: www.norskfysisk.no/filer/bok/har-du-draget.pdf

For fysisk utgave, kontakt forfatter.

Har du draget? er ifølge forfatter Per Thorvaldsen en lettfattelig innføring i klassisk mekanikk. Hvor lettfattelig det er blitt, kan nok diskuteres. Men forfatterens bruk av humor, anekdoter og historisk stoff gjør den opplagt mer leservennlig enn tradisjonelle lærebøker. Å la *snordrag* være et gjenomgående tema, er både en god idé og ganske morsomt! Så all ære til forfatteren, og jeg tror mange med meg vil like boka veldig godt.

Innenfor det fysikkdidaktiske feltet er det gjort en rekke undersøkelser om elevers og studenters forståelse av mekanikk, og det er til overmål dokumentert at kraftbegrepet i særdeleshet er vanskelig. Forestillingen om at det alltid må virke en netto kraft i bevegelsesretning når en gjenstand beveger seg, er svært utbredt. I fysikkdidaktisk litteratur kalles slike forestillinger gjerne *alternative forestillinger* eller *hverdagsforestillinger*. Slike forestillinger bygger ofte på erfaringer og kan på et vis forstås. Newtons mekanikk er på en måte *ikke-intuitiv*. Språket er også en utfordring. Begrepet *kraft* har en helt presis betydning i fysikk, til forskjell fra det dagligdagse ordet kraft. Med andre ord, å virkelig forstå den klassiske mekanikken er krevende.

Har du draget? fremstår med en gjennomtenkt og fin struktur. Det er for det mest korte og oversiktlige kapitler. Nesten alt stoffet er forklart gjennom oppgaver/eksempler. Det er imidlertid ikke så mye forklaring på hvordan lover og teorier er etablert. Derfor krever det nok noe forkunnskap for at en del av dette skal gi mening. Boka starter ut med et lettfattelig og til dels muntlig språk som fungerer veldig bra. Her blir man «omsorget for» underveis i lesningen.

Første kapittel «Møt familien» er en god start der blant annet verdien av tankeeksperimenter fremheves. Forfatteren gjør et poeng av at vi deler verden i «system» og «omgivelser». Det er bra, men selve ideen kunne kanskje vært introdusert med et enklere eksempel.

Kapittel 2 og 3 gir oss et fint og detaljert eksempel der vi får innblikk i den grunnleggende ideen i fremstillingen og tankegangen i den klassiske mekanikken. Det er imidlertid krevende å ha med omgivelsene og alle kreftene som da virker. Alt blir jo mye enklere når man skjønner hva systemet er og kan se bort fra omgivelsene.

Dynamikken er viktigere enn kinematikken, og i mange land er kinematikken en del av matematikken. Jeg liker at forfatteren fremhever at når oppgaver skal løses, er rekkefølgen: krefter som virker → kinematikk. Det første er fysikk, det andre matematikk. Forholdet mellom fysikk og matematikk er imidlertid et stadig tilbakevendende tema i fysikkdidaktikk. Noe av problemet er at elever og studenter ofte har problemer med å oversette fra en fysisk situasjon til et formalisert matematisk språk.

Beskrivelsen av Atwoods maskin i kapittel 4, er bra med en fin forenkling. Det er ikke «latskap» som forfatteren antyder, men her er hver del behandlet som ett system, og det er jo fornuftig. Jeg liker også at det stilles spørsmål om svarene på utregninger er rimelige. Ved å gå til ytterpunktene er det lett å se om svarene blir som forventet. Et tilsvarende poeng finner vi i kapittel 11. For å se om store nokså kompliserte uttrykk er fornuftig, foreslår forfatteren å sette for eksempel to masser lik hverandre, eller en masse til null. Dermed for-



enkles uttrykkene vesentlig og det er lett å se at uttrykkene gir mening.

I kapittel 5 innføres friksjon på en elegant måte. Og langsomt blir eksemplene/oppgavene litt mer kompliserte.

Kapittel 6 handler om likevekt og kraftmoment. Det kunne vært litt mer begrunnelser for innføring av kraftmoment. Kryssproduktet kommer litt brått på. Det er imidlertid et fint gjennomarbeidet eksempel for å vise likevektbetingelene. Og så liker jeg godt avslutningen med en ny utfordring.

Jeg er i noe tvil om ikke alle figurene for å ta med Newtons 3. lov er mer forvirrende en oppklarende i kapittel 7. Alle eksemplene og oppgavene går jo ut på å anvende Newtons 2. lov (og 1. lov), altså se på «vårt system» og ikke omgivelsene.

Det skrur seg litt til i kapittel 8 der rotasjon, spinn og treghetsmoment er tema, og i kapittel 9 begynner det å bli litt mer innfløkt regning, men oppmuntringene underveis hjelper en til å holde ut. Det er et ganske langt kapittel med mange nye begreper. Kapittel 10 og 11 har flere fine oppgaver, men med mye regning som gir til dels kompliserte uttrykk.

Jeg liker utsagn som på side 116: «Da har vi fem ligninger og fem ukjente. Vi er dermed ferdig med fysikken, og resten er ren matematikk». Derimot kan nok utsagn som «etter en god del regning kom jeg frem til ...» oppleves som frustrerende for noen. Kanskje burde noe mer av mellomregningen vært vist.

Opgaven som begynner på side 131 i kapittel 12, er ganske omfattende. Første spørsmål handler om kraft/motkraft-par. Som jeg har antydnet tidligere, er jeg i tvil om det er fornuftig å legge så mye vekt på

Newtons 3. lov. Figur 12.3 er ganske så kompleks, og hvis en klarer å lage en slik figur har en opplagt gjennomskuet mye av Newtons mekanikk. Men vi får liten bruk for Newtons 3. lov i resten av oppgaven, og når til og med alle snorene og jorda skal fjernes for å svare på første spørsmål, blir dette mer en «nøtt» enn fysikk for meg. Oppgaven er for øvrig god og illustrerer viktig fysikk. Dessuten synes jeg utvidelsen av oppgaven til slutt med harmonisk oscillator passer fint inn i fremstillingen.

Kapittel 13 innledes med noen korte kommentarer om læring og læringssyn. Forfatteren skriver om læringssyn: «Det er for tiden sosialkonstruktivismen, med sin hypotese om at det nærmest er umulig å lære noen noe nytt, og skal det i så fall skje, må det være i samhandling med andre, som rår grunnen». Disse betraktningene er nok satt litt på spissen, og jeg synes ikke de gir noe særlig innsikt i didaktisk tenkning.

Fysikkdidaktikk handler om undervisning og formidling av fysikk. Det handler om hvorfor elever/studenter skal lære fysikk, hva faget skal inneholde, hvordan vi skal undervise faget, og hvem undervisningen i fysikk retter seg mot. Det er særlig innenfor det vi kaller *sosiokulturelle læringssyn*, at den sosiale og kulturelle konteksten får en framtrødende rolle. I dette perspektivet er språk et nøkkelbegrep fordi språket er et så viktig redskap for å kunne tilegne seg kunnskap. Grunn tanken er at læring er noe som foregår fra en sosial kontekst til individuell forståelse. Vi møter nye ideer i sosiale sammenhenger (som kan være et klasserom), og der kommuniserer vi ved hjelp av språk. Et hovedpoeng er at enkeltindivider er best

«En meget vellykket innføring i klassisk mekanikk på et noe utradisjonelt vis.»

i stand til å bruke nye begreper og ideer alene etter å ha lært å bruke disse på et sosialt plan. Derfor er det så viktig at studenter blir stimulert til språklig deltakelse gjennom samtaler med medstudenter og lærer.

Det er fristende å vise til en omfattende presentasjon av fagfeltet fysikkdidaktikk som finnes i boka *Fysikkdidaktikk* [1]. Når dette er sagt, synes jeg ideen med å beskrive studenten som en fjær med livets lodd i enden, er veldig god, – og morsom! Den harmoniske læringsmodellen som beskrives, har jo til slutt ganske så mange likhetspunkter med det sosiokulturelle læringssynet kort beskrevet ovenfor.

Kapittel 14 gir en grundig innføring i fluidmekanikk. Ved siden av at de klassiske ligningene og lovene er presentert og forklart, benytter forfatteren anledningen til å komme med en rekke mer kvalitative betraktninger og mange praktiske eksempler. Imidlertid synes jeg innføringen av tilstandsligningen for ideell gass kommer litt brått på. Her kunne det med fordel vært gitt noen få setninger som forklarte begrepet og ligningen.

Forfatteren skriver at han som student syntes det var irriterende at det bare var svar på odde nummererte oppgaver. Det har han tatt konsekvensen av i denne boka – her er det bare odde oppgaver. Og her er det en rekke oppgaver, alle med fullstendig løsningsforslag. Det er mange fine oppgaver. Noen er meget utfordrende, mens andre er litt lettere. Spesielt likte jeg noen av flervalgsoppgavene som krevde mer kvalitative resonnementer. Tekstene i løsningsforslagene til disse oppgavene gir god innsikt i sentrale fysikkproblemstillinger.

Det som i boka omtales som *appendiks*, omfatter flere kapitler. Først får vi en kort og fin innføring i vektorregning. Hvis en ikke er fortrolig med vektorregning fra før, er dette et fint kapittel for å forstå de mest sentrale begrepene. Noen enkle

eksempler fra fysikken er også tatt med. Videre viser forfatteren hvordan en kan illustrere kinetiske ligninger ved hjelp av Excel. Kanskje et lite utsnitt av regnearket hadde vært fint å ha med, ikke bare det grafiske resultatet. Videre introduseres bevegelsesdiagrammer med flere detaljerte eksempler. Å kunne drøfte grafer kvalitativt, har jeg stor tro på. Det blir litt mer utfordrende når en tar for seg en bevegelse i tre dimensjoner, men det overkommelig og fint illustrert.

Det er også blitt plass til litt om linjeintegral, konservative krefter, energi og potensial. For dem som ikke kan noe om differensialoperatorer og partiell derivasjon, kan nok disse avsnittene bli en utfordring.

Kapittel 19 handler om hvordan Newton ved hjelp av Keplers lover og geometriske betraktninger fant fram til gravitasjonsloven. Med utgangspunkt i *Principia* tar forfatteren oss med i Newtons fotspor. Fremstillingen er meget detaljert og krever ganske mye av leseren, men til gjengjeld får vi innsikt i Newtons tankegang. Denne typen fysikkhistorie er både spennende og lærerik.

Har du draget? er en meget vellykket innføring i klassisk mekanikk på et noe utradisjonelt vis. Her er et vell av gode oppgaver som vil kunne glede mange. Boka er velskrevet med mange gode «treffende» beskrivelser. Den litt muntlige stilen passer godt, og ikke minst, de små humoristiske innslagene er en fryd for leseren. ■

Carl Angell
Professor i fysikkdidaktikk, UiO

Referanse

- [1] Angell, Carl; Bungum, Berit; Henriksen, Ellen Karoline; Kolstø, Stein Dankert; Persson, Rolf Jonas; Renstrøm, Reidun. *Fysikkdidaktikk*. Cappelen Damm Akademisk 2019 (ISBN 978-82-02-62335-7) 452 s.



Knut Oddvar Høie Vadla

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

PhD-avhandling: «Search for production of charginos and neutralinos in dilepton final states with the ATLAS detector at the LHC»

Veiledere: Professor Farid Ould-Saada og Dr Eirik Gramstad

Supersymmetri er en populær utvidelse av standardmodellen (SM) for partikkelfysikk, som spår en supersymmetrisk partner til hver SM-partikkel. Blant disse er det fire charginoer og fire nøytralinioer, som er partnere til de ladde og nøytrale justerbosonene og Higgs-bosonet i SM. Det letteste nøytralinioet blir ofte regnet for å være en mørk materie-kandidat. Dersom supersymmetri eksisterer i naturen, skal det være mulig å produsere supersymmetriske partikler i høyenergiske partikkelkollisjoner.

I denne avhandlingen har jeg analysert målinger utført av ATLAS-detektoren, under protonkollisjoner ved Large Hadron Collider mellom 2015 og 2018. Målet var å søke etter signaler som ikke kan forklares av de velkjente SM-partiklene. Mer

spesifikt har jeg søkt etter charginoer og nøytralinioer i kollisjoner der to leptoner (elektroner eller myoner) har blitt målt i detektoren. Dersom ingen slike signaler blir funnet, kan vi ekskludere noen av scenarioene der supersymmetriske partikler skulle ha vist seg, dersom de hadde eksistert.

Jeg angrep problemet på to måter: først ved den konvensjonelle kutt-og-tell-metoden, og deretter ved hjelp av maskinlæring til å klassifisere kollisjonshendelser til enten å være et supersymmetrisk signal eller en bakgrunnsprosess fra SM. Ingen supersymmetriske signaler ble funnet, så vi kunne derfor utvide eksklusjonsgrensene for hvor lette charginoene og nøytralinioene kan være.



Ivar Thokle Hovden

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

PhD-avhandling: «Structural and functional tracking in longitudinal magnetic resonance imaging of glioblastoma»

Veiledere: Professor Eirik Malinen og Dr Kyrre Eeg Emblem

Glioblastom er en dødelig hjernesvulst. Kreftformen er vanskelig å behandle og har dårlig prognose med kun 12–15 måneder overlevelse etter diagnose. Magnetresonanstomografi (MR) er viktig for å diagnostisere og behandle denne sykdommen.

I doktorgradsavhandlingen har forsker og sivilingeniør Ivar Thokle Hovden undersøkt metoder for å forbedre nøyaktigheten av MR i behandling av hjernesvulst. MR gir høyoppløselige bilder om plasseringen og størrelsen på en svulst, og kan også brukes til å spore hvordan en pasient responderer på behandlingen. I tillegg kan funksjonelle MR-teknikker gi tilleggsinformasjon om blant annet hjer-

nens blodforsyning. Det er mange usikkerheter ved slike avbildningsteknikker, og desto viktigere at bildene som blir presentert for behandlende lege, er mest mulig korrekte.

I avhandlingen fokuserer Hovden på metoder som kan spore intensiteter og forflytninger i bildene, såkalt «voksel-sporing». Denne metodikken gir grunnlag for å hente ut mest mulig anatomisk og fysiologisk riktig informasjon fra MR. Arbeidet presenterer metoder for å korrigere feil i blodmålinger, prognostiske bildemarkører basert på forflytninger i vev, og en modell for hvordan kreften vokser og påvirker hjernen. Disse metodene legger et grunnlag for å gjennomføre tidsavhengige studier av hvordan en hjernekreft vokser og utvikler seg, med formål å utvikle mer persontilpassede behandlingsforløp for pasienter med ondartet hjernekreft.



Siri Fløgstad Svensson

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

PhD-avhandling: «MR Elastography of the Brain In healthy subjects and patients with glioblastoma»

Veiledere: Professor Eirik Malinen og Dr Kyrre Eeg Emblem

I jakten på nye muligheter for behandling av hjernekreft brukes avanserte MR-teknikker for å lære mer om hjernesvulster. MR-elastografi (MRE) er en avbildningsteknikk som kan måle hjernevevets stivhet, som vi vet kan endres ved kreft.

I denne avhandlingen er MR-elastografi brukt for å avbilde hjernen til friske personer og til pasienter med glioblastom, som er den mest aggressive typen hjernekreft. Vi fant at MRE er en robust teknikk som kan brukes til å måle vevstivhet i hjernen.

I pasienter med glioblastom skilte svulstens biomekaniske egenskaper seg fra målinger i friskt hjernevev. Vi fant

unormale verdier også utenfor svulsten slik den er synlig på konvensjonelle MR-bilder, noe som illustrerer hvor infiltrerende denne sykdommen er. Lav stivhet var forbundet med høy blodflyt.

MRE-avbildning av glioblastom før en operasjon kan dessuten gi informasjon om svulstens heterogenitet. RNA-sekvensering av vevsprøver tatt under operasjonen viste at stivere områder av svulsten var forbundet med reorganisering av vevet utenfor svulsten. Vevsprøver som ble klassifisert som stive ved MRE var forbundet med et genuttrykk som korrelerte med kortere overlevelse i pasienter med glioblastom.



Jeriek Van den Abeele

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

PhD-avhandling: «Dashing Through Search Spaces in the Physical Sciences»

Veiledere: Professorene Are Raklev og Alexander Lincoln Read

Van den Abeeles avhandling omhandler ett av de sentrale problemene i moderne fysikk og naturvitenskap generelt: vi har i dag ufattelig mengder med data fra svært mange kilder; et eksempel er de store partikkelfysikkesperimentene som Large Hadron Collider (LHC) på CERN. Samtidig er modellene vi i dag arbeider med for å beskrive verden rundt oss såpass kompliserte, i den forstand at de inneholder svært mange ukjente parametre, at det er vanskelig å se hva slags konklusjoner man kan trekke om modellenes relative egnethet og hvordan de kan tilpasse seg all den data vi har.

For å finne hvilke modeller som er konsistente med data utforskes store parameterrom i partikkelfysikk i dag ved hjelp av såkalte globale tilpasninger («global fits») hvor egenskapene til enkeltparameterpunkt predikeres, sammenlignes med all tilgjengelig data for å gi en global sannsynlighet for punktet, og med bakgrunn i denne sannsynligheten velges et nytt punkt helt til den bakenforliggende søkealgoritmen når et stoppkriterium som sier noe om hvor godt parameterrommet har blitt utforsket.

Hovedbegrensningen i denne metoden ligger i dag i utregningene av egenskapene til et enkelt punkt ved hjelp av kvantefeltteori, for eksempel produksjonssannsynligheten ved LHC for nye partikler i modellen. Disse er beregningsmessig svært kostbare og danner en flaskehals som begrenser bruken av globale tilpasninger. I sin PhD har Van den Abeele utviklet et nytt dataverktøy, Xsec, som

braker moderne maskinlæringsteknikker basert på bayesiansk statistikk for å lindre problemet gjennom regresjon fra eksisterende beregninger.

Tematisk fokuserer avhandlingen først og fremst på supersymmetriske utvidelser av standardmodellen. Disse introduserer en rekke nye partikler, og parametre, for å forklare hvordan Higgsbosonet kan være så lett som observert. Spesielt undersøkes to supersymmetriske scenarier som involverer gravitinoet, den hypotetiske supersymmetriske motparten til gravitonen og en potensiell kandidat til å være mørk materie. Resultatet av nye globale tilpasninger for disse modellene, som bruker adaptive teknikker for å effektivt lete gjennom parameterrommene, viser at de er en plausibel forklaring på mørk materie, og at de enda ikke kan ekskluderes av data fra LHC og andre steder.

I den siste delen av avhandlingen utvikler Van den Abeele teknikker for å utforske det enormt store antallet mulige molekylære strukturer for nye legemidler. For å akselerere utviklingen av medisiner implementeres en ny algoritme for optimalisering inspirert av naturlig evolusjon. Ved å både fokusere på kvaliteten og mangfoldet i de genererte molekylene leder dette til svært lovende resultater for økt effektivitet innen legemiddelutvikling. Verktøyene som er utviklet i denne delen av avhandlingen har senere blitt brukt til å foreslå nye molekyler for å bekjempe SARS-CoV-2 viruset.



Vetle Wegner Ingeberg

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

PhD-avhandling: «The Oslo Method in inverse Kinematics»

Veiledere: Professor Sunniva Siem

Et av de store spørsmålene i fysikk og astrofysikk har lenge vært opphavet til grunnstoff tyngre enn jern. I dag er den ledende teorien at disse grunnstoffene blir produsert ved at atomkjerner fanger inn ett og ett nøytron, for så å henfalle ved å omgjøre et nøytron til et proton, og ved det skape et tyngre grunnstoff. Det er fortsatt knyttet stor usikkerhet til hvor og hvordan dette foregår. Det er spesielt store åpne spørsmål rundt virkningstverrsnitt for innfangning av nøytroner i atomkjerner som har et stort overskudd av nøytroner, noe som fører til store usikkerheter i modeller for slike prosesser.

Virkningstverrsnittet for kjernefysiske reaksjoner slik som nøytroninnfangning kan beregnes ved hjelp av *Hauser-Feshbach-modellen*, men krever nøyaktig informasjon om de kjernefysiske egenskapene *nivåtetthet* og *gamma-styrkefunksjon* til den produserte atomkjernen. Nivåtettheten er et mål på antallet kvantemekaniske nivåer i atomkjernen per energienhet som funksjon av eksitasjonsenergien, mens gamma-styrkefunksjon er et mål på sannsynligheten for gamma henfall som funksjon av energien på den utsendte gamma-partikkelen. For å måle disse egenskapene kan man bruke *Oslo Metoden*. Dette er en metode som har blitt utviklet av Kjerne- og energifysikkgruppen ved UiO over flere år og er den eneste metoden som kan måle nivåtetthet og gamma-styrkefunksjon i samme eksperiment. I Oslo Metoden skyter man en ionestråle av en lett atomkjerne som protoner, deuterium, helium-3 eller alfa-partikler på en målskive. Målskiven er gjerne anrikt slik at den kun består av den spesifikke atomkjernen vi ønsker å lage reaksjoner med. I reaksjonene mellom strålen og målskiven blir atom-

kjernene i målskiven eksitert, og gammastråler blir sendt ut. Ved å analysere energispektret til gammastrålene ved forskjellige eksitasjonsenergien kan man finne nivåtettheten og gamma-styrkefunksjon.

Med Oslo Metoden kan man bare gjøre målinger på atomkjerner som er stabile nok til at man kan lage en målskive av dem. Det betyr at det ikke er mulig å gjøre målinger på for eksempel edelgasser og kortlevde radioaktive atomkjerner. I Vetle sin doktorgrad har han utforsket et alternativt oppsett for å gjøre Oslo Metode-eksperimenter, ved å bruke invers kinematikk. Invers kinematikk betyr at man istedenfor å bruke en stråle av lette ioner heller skyter en stråle av tunge ioner mot en målskive som består av lette atomkjerner. Essensielt bytter målskiven og strålen. Dette gjør at man kan gjøre målinger på atomkjerner som man ellers ikke ville vært i stand til med i et vanlig Oslo Metode-eksperiment. Noe som er svært nyttig dersom man skal måle nivåtetthet og gamma-styrkefunksjon i nøytronrike atomkjerner, som er viktig får å forstå grunnstoffers opphav. I avhandlingen har Vetle utviklet nye metoder for analyser av invers kinematikk-eksperimenter slik at data fra disse kan brukes med Oslo Metoden. Med disse nye analysemetodene har han målt nivåtettheten og gamma-styrkefunksjonen til krypton-87 og nikkel-67 med invers kinematikk.

I tillegg til arbeidet med utvikling av Oslo Metoden i invers kinematikk så har Vetle også vært sentral i oppbygningen av det nye detektoroppsettet «OSCAR – Oslo Scintillator Array» ved syklotronlaboratoriet ved UiO. Han har også jobbet med karakterisering av et nytt detektoroppsett for måling av korte levetider ved iThemba LABS i Sør-Afrika.

RETURADRESSE:
FRA FYSIKKENS VERDEN
FYSISK INSTITUTT, UNIVERSITETET I OSLO
BOKS 1048 BLINDERN
0316 OSLO
NORGE

ISSN-0015-9247

Styret i Norsk Fysisk Selskap

President

Professor Sunniva Siem, Fysisk institutt, UiO, Kjerne- og energifysikk
sunniva.siem@fys.uio.no

Visepresident

Forsker Hilde Nesse, Institutt for fysikk og teknologi, UiB,
Birkelandsenteret for romforskning
hilde.nesse@uib.no

Styremedlemmer

Rom-, plasma- og klimafysikk: Førsteamanuensis Audun Theodorsen, Institutt for fysikk og teknologi, UiT

Subatomær fysikk og astrofysikk: Professor Håvard Helstrup, Institutt for datateknologi,
elektroteknologi og realfag, HVL

Industri- og energifysikk: Professor Jon Samseth, Institutt for produktdesign, OsloMet

Akustikk og optikk: Professor Astrid Aksnes, Institutt for elektroniske systemer, NTNU

Biofysikk og medisinsk fysikk: Professor Pawel Sikorski, Institutt for fysikk, NTNU

Kondenserte fasers fysikk med atomfysikk: Forsker Kristian Stølevik Olsen, Nordita

Leder av Norsk Fysikklærerforening: Lektor Kaja Nordby, Kongsbakken vgs.

Vara

Professor Magnus Borstad Lilledahl, Institutt for fysikk, NTNU

Adresse

Norsk Fysisk Selskap
Fysisk institutt, UiO
Boks 1048 Blindern
0316 Oslo

www.norskfysisk.no

Sekretær

Stipendiat Andreas Halkjelsvik Mjøs, Fysisk institutt, UiO

E-post: nfs.styret@gmail.com

Bankgiro: 7878.06.03258

Org.nr.: 940 340 829

Bedriftsmedlemmer

Vi takker for støtten fra
våre bedriftsmedlemmer:



UNIVERSITETET
I OSLO



UNIVERSITETET I BERGEN



UiT Norges
arktiske universitet



THORLABS