

1998-D-45  
Orig.: FR  
Version: DK

## Læseplan for Fysik - 6. & 7. klasse

---

(Godkendt af Europaskolernes Øverste Råd på mødet i  
København den 28. & 29. april 1998)

### **Ikrafttræden :**

---

I 6. klasse fra september 1998

I 7. klasse fra september 1999

---

## I. Indledning.

4-timers valgfaget er slutkurset i Europaskolernes fysikundervisning. Det genoptager mange af emnerne fra 4. og 5. klasse, men videreudvikler disse, går mere i dybden og skaber forbindelser til andre fag.

For et betydeligt antal elever vil det være den sidste fysikundervisning, og for andre vil det være forberedelse til videregående studier.

## II. Formål

Da kurset tager sit udgangspunkt i undervisningen fra 4. og 5. klasse, vil mange af målene være de samme som beskrevet i dennes præambel, og der henvises hertil.

Hertil må man føje det krav, at eleverne efter ovenstående bemærkninger skal opnå et sådant fagligt standpunkt, at det gør dem i stand til at påbegynde et videnskabeligt universitetsstudium eller et ingeniørstudium med lige så store chancer for succes som en elev, der har fulgt et tilsvarende kursus i et af medlemslandene.

Et vigtigt aspekt i undervisningen er modelbegrebet, som skal have en fremtrædende plads. Eleverne skal lære at skelne mellem model og virkelighed og skal opnå et niveau, som gør dem i stand til at forstå såvel styrken som svagheden ved modeller, f.eks. bølgemodellen for lys og de forskellige modeller for brintatomet.

## III. Målgrupper og undervisningsmetoder.

### 1. Målgruppe.

#### (a) Kommende fagfolk.

Kurset vil være af direkte relevans for de elever, der ønsker at studere et fag, som er af naturvidenskabelig natur, som f. eks. fysik, ingeniørvidenskab, arkitektur eller matematik. Men også elever, som vælger andre studier, kan have udbytte af fysikkurset, enten af direkte studiemæssige grunde eller som en del af en almen dannelse.

#### (b) Den veluddannede medborger.

Elever, som ikke forestiller sig en fremtid inden for naturvidenskaberne, får med fysik på dette niveau en mulighed for på en praktisk måde at udvide deres generelle viden. Det moderne samfund er stærkt teknisk orienteret, og mange beslutninger må tages på baggrund af et kendskab til naturvidenskab.

## 2. Adgangskrav.

De elever, som ønsker at følge 4-timers valgfaget i 6. og 7. klasse, må i 5. klasse have vist særlig interesse for faget og have kunnet opnå gode karakterer uden at anstrenge sig for meget. Som for andre valgfag i 6. klasse vil tempoet blive øget, og der vil blive stille større intellektuelle krav end tilfældet var i 4. og 5. klasse. Elever, som havde vanskeligt ved at opnå en bestået-karakter, bør ikke vælge dette kursus.

Det er også ønskeligt, at eleven har gode evner i matematik. Det betyder ikke nødvendigvis, at de skal følge 5-timers matematikkurset, men elever fra den første målgruppe bør så absolut gøre det. Andre elever, der betragter kurset som en del af deres almene uddannelse, og som er gode til matematik, kan nøjes med 3-timers matematikkurset for at kunne investere mere tid andre steder. Men en elev, som har vanskeligheder med matematik, bør ikke vælge faget.

## 3. Undervisningsmetoder.

Der findes ikke et kursus i naturvidenskab uden eksperimenter. For selve essensen af at udøve naturvidenskabelig aktivitet er at observere, at forbinde forskellige iagttagelser med hinanden, at drage konklusioner, at foretage forudsigelser og at afprøve disse. Derfor må det eksperimentelle grundlag for fysikken inddrages så meget som overhovedet muligt i undervisningen, og det er i høj grad ønskeligt, at eleverne selv udfører så mange eksperimenter, som tiden tillader.

Herudover bør eleverne lære at anvende såvel traditionelle hjælpemidler (opslagsværker og selvstudium) som brug af computer i forbindelse med undervisningen. Dette indebærer:

- indsamling af data
- databehandling
- simulationsprogrammer
- brug af multimedia og Internet.

Eleven bør også være i stand til at erkende begrænsningerne ved edb-baserede metoder, således at de f. eks. ikke forveksler simulationer og eksperimenter.

## IV. Pensum og standpunktsbedømmelse.

Pensum.

### 6. klasse

Afsnit M.      Mekanik.

2- og 3-dimensional kinematik og dynamik for punktformede legemer.  
Vektorbeskrivelse.  
Bevarelse af energi og impuls.  
Jævn cirkelbevægelse.  
Lineær harmonisk svingning.

Afsnit F.      Elektriske og magnetiske felter.

Homogent og kuglesymmetrisk felt, elektrisk potential og potentiel energi.  
Kapacitans.  
Homogent magnetisk felt, solenoide.  
Hall effekt.  
Elektromagnetisk induktion.

Valgfrie emner.

Et af følgende emner skal vælges:

Den specielle relativitetsteori.  
Stive legemers mekanik.  
Vekselstrøm.  
Termodynamik.

### 7. klasse

Afsnit F.      Feltfysik.

Energi i et kuglesymmetrisk felt og i homogene felter.  
Partiklers bevægelse i felter.

Afsnit W.      Bølger.

Sinusformede bølger. Bølgeligning og eksempler på fremadskridende bølger.  
Refleksion, brydning, diffraktion, interferens.  
Stående bølger.  
Doppler effekt.

**Afsnit D. Dualbeskrivelse af bølger og stof.**

Lysets partikelnatur.  
Fotoelektrisk effekt.  
Fotoners impuls.  
Diffraktion af partikler.  
De Broglie-bølger.

**Afsnit A. Atomfysik.**

Rutherford-atomet. Spektralserier.  
Brintatomets energiniveauer.

**Afsnit N. Kernefysik.**

Elementarpartikler. Atomkernen.  
Masse-energi ækvivalens.  
Massedefekt og bindingsenergi, bindingsenergi pr. nukleon.  
Fission og fusion. Reaktorer.  
Ekspontielt radioaktivt henfald. Halveringstid.  
Radioaktive familier.

**Standpunktsbedømmelse.**

Elevens standpunkt i faget vil blive fastlagt ud fra de bestemmelser, som gælder generelt for standpunktsvurderinger i 6. og 7. klasse, herunder for karakterfastsættelse ved Den europæiske Studentereksamen. Bemærkninger om standpunktsvurdering er vedlagt som et appendiks, der skal læses i sammenhæng med det tilsvarende, mere detaljerede appendiks for kurset i 4. og 5. klasse.

Pensum for den skriftlige studentereksamen vil være baseret på 7. klasses program, men der kan inddrages emner fra de tidligere år. Kendskab til stof behandlet udelukkende i de valgfrie emner i 6. klasse vil ikke blive forudsat.

## Retningslinier for udarbejdelse af skriftlige eksamensopgaver.

Opgaver, som skal bruges til at vurdere elevernes udbytte af fysikundervisningen i 6. og 7. klasse, herunder specielt studentereksamensopgaver, skal udformes efter de retningslinier, der er udarbejdet i det tilsvarende appendiks for 4. og 5. klasses fysikundervisning med skyldig hensyn til niveauforskellen. I denne sammenhæng skal man bemærke sig, at eleverne selv har valgt et valgfag i modsætning til kurset i 4. og 5. klasse, som er obligatorisk for alle. Nogle af retningslinierne findes gentaget nedenfor med tilføjelser, som specielt finder brug ved udarbejdelsen af opgaver til 6. og 7. klasse.

- 1) Opgaverne skal være passende sammensat. Der må ikke være for megen simpel reproduktion, og der må heller ikke være for mange spørgsmål, som kræver virkelig selvstændig tænkning. De skal i hovedtrækket vurdere elevernes generelle forståelse af fysiske principper og ikke deres evne til blot at huske udenad og at sætte ind i formler.
- 2) Ovenstående balance bør være således, at en normalt begavet elev, der har arbejdet godt i faget, forholdsvis nemt kan opnå karakteren 6 og endda opnå karakteren 7 eller 7.5 ved tilstrækkelig flid.
- 3) Til trods for ovenstående bemærkninger bør man forsøge at stille spørgsmål i hver opgave, som selv en svag elev vil kunne svare på (simpel reproduktion på middelniveau), men det må ikke bidrage væsentligt til det samlede pointtal. Tilsvarende bør gælde for sværere stof, som gør gode elever i stand til at vise, hvad de kan.
- 4) Opgaverne skal ikke være så lange, at det vil tage urimelig lang tid for eleverne at læse dem omhyggeligt igennem og forstå formuleringen. Dette er især vigtigt for 6. og 7. klasses elever, hvor en del af dem vil være tvunget til at følge faget på et fremmedsprog på grund af vanskeligheder med at oprette kurset i små sprogsektioner.
- 5) Det bør tilstræbes, at de enkelte opgaver spreder sig over et større område af stoffet og ikke koncentrerer sig om et meget snævert afgrænset område. Det giver en bedre vurdering og er med til at undgå prøver, som blot gentager de samme spørgsmål i forskellig forklædning.
- 6) Opgaverne bør fokusere på principper i selve pensum, men det udelukker ikke, at der kan stilles spørgsmål som kræver, at kandidaterne anvender disse principper på andre situationer, som ikke er specifikt nævnt i anden kolonne, naturligvis forudsat at disse anvendelser er ret indlysende, og at hele opgaven ikke er indskrænket til disse andre situationer.

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde</i>	MULIGE METODER
<p><i>Afsnit M. Mekanik</i></p> <p><b>M1 Kinematik.</b></p> <p><b>M1.1 Vektorfremstilling.</b></p> <p><b>M1.2 Bevægelse med konstant hastighed og bevægelse med konstant acceleration.</b></p>	<p>Om dette program gælder, at formler nævnt i teksten skal kunne udledes af eleverne, hvorimod</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;">formler og definitioner, som er givet i kasser, skal være kendt af eleverne og kan anvendes uden bevis.</p> <p>Bevægelser med et givet begyndelsespunkt, begyndeshastighed og acceleration kan beskrives ved hjælp af en vektormodel. Repetition af definitioner og ligninger i grundlæggende kinematik i programmet fra klasserne 4 og 5, afsnittene K2 og K3, idet man nu lægger vægt på vektorbeskrivelsen af disse størrelser.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p><b>Hastighed :</b> Symbol: <math>\vec{v}</math> Enhed: <math>\text{ms}^{-1}</math></p> <p>Definition <math>\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}</math></p> <p>Øjeblikshastighed : <math>= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{d\vec{s}}{dt}</math></p> <p><b>Acceleration</b> Symbol: <math>\vec{a}</math> Enhed: <math>\text{ms}^{-2}</math></p> <p>Definition <math>\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v}}{t} = \frac{d\vec{v}}{dt}</math></p> <p><b>Middelhastighed</b> Symbol: <math>\langle \vec{v} \rangle</math></p> <p>Definition : Total vektorforskydning/total tid.</p> <p><b>Ligninger for bevægelse med konstant acceleration :</b> <math>\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t</math> ; <math>\vec{s} = \vec{v}_0t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2</math></p> </div>	<p><math>v^2 = u^2 + 2as</math></p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>M1.3 Addition af hastigheder.</b>  <b>M1.4 Projektilbevægelse.</b>  <b>Tid: 16 lektioner (M1)</b></p> <p><b>M2 Dynamik.</b>  <b>M2.1 Grundlag.</b></p> <p><b>M2.2 Elastiske kræfter.</b></p>	<p>Addition og opløsning af hastigheder i to dimensioner.</p> <p>Addition af to vinkelrette bevægelser, hvoraf den ene er med konstant fart, den anden med jævn acceleration. Denne situation har man for eksempel, når et projektil bevæger sig uden luftmodstand under påvirkning af tyngdekraften, og banekurven er en parabel. Eleverne skal være i stand til at bestemme hastighed, position og bevægelsesretning til et vilkårligt tidspunkt, samt kastevidde, kasteøjde og kastets varighed, når udgangsbetingelserne er givet.</p> <p>Repetition af grundlæggende dynamik fra 4. og 5. klasses program, afsnit M4.1 til M4.5, idet kræfters vektor-natur indføres og understreges.                      Addition og opløsning af kræfter i to dimensioner. Legemer betragtes som punktpartikler.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <math display="block">\vec{F}_{\text{res}} = \sum \vec{F}</math> <math display="block">\vec{F}_{\text{res}} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v} = \text{konstant}</math> <math display="block">\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}</math> <math display="block">\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}</math> </div> <p>Udover allerede nævnte kræfter skal elastiske kræfter (fjederkræfter) behandles. Fjederkraften er proportional med fjederens forlængelse.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p><b>Elastisk kraft.</b>  <math>\vec{F} = -k\Delta\vec{s}</math>, hvor <math>k</math> betegnes fjederkonstanten.</p> </div> <p>Bevægelse af forbundne systemer - elevatorer, køretøjer som trækker eller trækkes - behandles ligesom bevægelse under indflydelse af ikke-parallele kræfter såsom bevægelse på et skråplan.</p>	<p>Forsøg: luftpudebænk, stroboskop...</p> <p>Trigonometrisk eller vektoriel behandling.                      Udbredelseshastighed: tidevand, havstrømme, luft- og jordhastighed.</p> <p>Forsøg i tog, elevatorer, raketter etc.</p>



KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>M2.3 Gnidningskræfter.</b></p> <p><b>M2.4 Gravitation.</b></p> <p><b>M2.5 Variation af g.</b></p> <p><b>Tid: 10 lektioner (M2)</b></p> <p><b>M3. Bevarelses-sætninger.</b></p> <p><b>M3.1 Energi.</b></p>	<p>Der foretages en kvalitativ beskrivelse af gnidningskræfter, såvel mellem faste stoffer som i væsker.</p> <p>To kuglesymmetriske legemer med massen <math>M</math>, hhv. <math>m</math> i afstanden <math>r</math> tiltrækker hinanden gensidigt med en kraft, som er proportional med deres masser og omvendt proportional med kvadratet på deres indbyrdes afstand.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p style="text-align: center;"><b>Gravitationskraft</b></p> <math display="block"> \vec{F}  = G \frac{Mm}{r^2}, \text{ hvor } G \text{ er den universelle gravitationskonstant.}</math> </div> <p>I en afstand <math>r</math> fra centrum af en planet med massen <math>M</math> er værdien af tyngdeaccelerationen, også kaldet feltstyrken, lig med <math>g = \frac{GM}{r^2}</math>. Hvis <math>g_0</math> er værdien ved overfladen af en planet med radius <math>R</math>, så er</p> $g = g_0 \cdot \frac{R^2}{r^2}.$ <p>Der betragtes kun punktleger eller legemer med kuglesymmetri. Kraftfelter, der varierer omvendt proportionalt med afstandens kvadrat som f. eks. ved en planet, kan for lodrette forskydninger tilnærmes med et konstant felt, hvis forskydningen er meget lille i forhold til radius.</p> <p>Makroskopiske vekselvirkninger og reaktioner resulterer ikke i en ændring af den totale energi, men der kan ske overførsler af energi fra en form til en anden.</p> <p>Den resulterende krafts arbejde på et legeme er lig med tilvæksten i kinetisk energi.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <math display="block">A_{\text{res}} = \vec{F} \cdot \Delta \vec{s}</math> <math display="block">A_{\text{res}} = \Delta E_{\text{kin}} = \Delta \left( \frac{1}{2} mv^2 \right)</math> </div> <p>Nær ved Jordens overflade kan tyngdekraften betragtes som værende konstant, og den potentielle energi hidrørende fra tyngden er proportional med højden over et givet nulpunkt.</p> <p>Det arbejde, som udføres af en elastisk kraft, er lig med produktet af kraftens middelværdi og forskydningen.</p>	<p>Legemer, som falder i vand. Faldskærm.</p> <p>Sluthastighed for faldende legemer.</p> <p>Cavendish's balancevægt.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>M3.2 Impuls (bevægelses- mængde).</b></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">A_{\text{lyn}} = \Delta E_{\text{pot}} = \vec{F} \cdot \vec{s} = mgh</math> <math display="block">A_{\text{fjeder}} = \langle \vec{F} \rangle \cdot \Delta \vec{s}</math> <math display="block">A_{\text{fjeder}} = \Delta E_{\text{fjeder}} = \frac{1}{2} \vec{F} \cdot \Delta \vec{s} = \frac{1}{2} k(\Delta s)^2, \text{ når fjederen oprindeligt er ustrakt.}</math> </div> <p>Når der ses bort fra gnidning, er summen af et legemes kinetiske og potentielle energi konstant, når man betragter kræfter såsom gravitation og elastiske kræfter. Summen betegnes også som legemets mekaniske energi.</p> <p>Det vektorielle aspekt skal fremhæves i forbindelse med beregning af arbejde, og der skal behandles tilfælde, hvor kraft og forskydning ikke er parallelle. Eleverne skal være i stand til at regne med energibevarelse og med overførsel af energi i alle de tilfælde, som er omtalt i programmet for klasserne 4 og 5.</p> <p>En konstant kraft <math>\vec{F}_{\text{res}}</math>, som virker på et legeme i tiden <math>\Delta t</math>, ændrer legemets hastighed (impulssætningen).</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <math display="block">\vec{F}_{\text{res}} \cdot \Delta t = m\Delta \vec{v} \text{ for konstant masse.}</math> </div> <p>Heraf følger, at hvis den resulterende kraft er <math>\vec{0}</math>, så er <math>m\vec{v}</math> en bevaret størrelse, som kaldes for legemets impuls eller bevægelsesmængde.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>Impuls</b> <math>\vec{p} = m\vec{v}</math>                  Symbol: <math>\vec{p}</math>    Enhed: <math>\text{kgms}^{-1}</math></p> </div>	<p>Energioverførsel i et lod, som hænger i en fjeder. Rutsjebaner.</p> <p>Har man en kvik klasse, kan man her betragte gastryk, hvis klassen ikke har termodynamik som valgfrit emne.</p> <p>Forsøg med stød og eksplosioner. "Newtons vugge".</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>M3.3 Stød.</b></p> <p><b>Tid: 16 lektioner (M3)</b></p> <p><b>M4 Jævn cirkelbevægelse.</b></p> <p><b>M4.1 Grundlag.</b></p>	<p>Betragt et isoleret system af to eller flere legemer; dvs. de påvirkes ikke af ydre kræfter, men udelukkende af indre kræfter. Her medfører loven om aktion og reaktion, at den samlede impuls er konstant. Dette kan skrives på følgende måde ved hjælp af impulsbegrebet:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <math display="block">\vec{F}_{\text{res}} = \frac{d\vec{p}}{dt} \text{ gælder altid}</math> <math display="block">\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a} \text{ for konstant masse}</math> <math display="block">\sum_n m_n \vec{v}_n = \text{konstant for et isoleret system}</math> </div> <p>En kvantitativ gennemgang er ikke nødvendig for systemer, hvor massen varierer.</p> <p>Et stød kaldes et <b>fuldstændigt uelastisk stød</b>, hvis legemerne følges ad med samme hastighed efter stødet. Et stød kaldes et <b>elastisk stød</b>, hvis den totale kinetiske energi er bevaret. Begge tilfælde skal behandles, både i én og to dimensioner. I begge tilfælde gælder, at impulsen er bevaret, men i uelastiske stød forvandles kinetisk energi til varme.</p> <p>Banekurven for et punkt, som bevæger sig omkring et andet, fast punkt kan beskrives ved hjælp af den gennemløbne vinkel (målt i radian) og radius. Den gennemløbne vinkel pr. tidsenhed kaldes vinkelhastigheden. Det er ikke nødvendigt at foretage en vektorbeskrivelse af vinklen eller vinkelhastigheden.</p>	<p>Rekyl af artilleri. Landingsstel. Raketmotorer. Sikkerhedsseler. Hydrofoilbåde.</p> <p>En kvik klasse kunne f. eks. arbejde med systemer, hvor massen ændres, f. eks. raketmotorer.</p> <p>Grammofon. Jordens egenrotation og rotation om Solen.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>M4.2 Centripetalkraft.</b></p> <p><b>M4.3 Satellitbevægelse.</b></p> <p><b>M4.4 Referencesystemer.</b></p> <p><b>Tid: 8 lektioner (M4)</b></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Vinkel</b>                      Symbol: <math>\theta</math>    Enhed: radian                      Definition: <math>\theta = d/r</math> hvor <math>d</math> er buelængden og <math>r</math> radius</p> <p><b>Vinkelhastighed</b>        Symbol: <math>\omega</math>    Enhed: radianer/s = <math>s^{-1}</math>                      Definition: <math>\omega = \Delta\theta/\Delta t</math>  <math>\omega = v/r</math> ; <math>T = 2\pi/\omega = 1/f</math></p> </div> <p>En resulterende kraft er nødvendig for, at et legeme kan udføre en jævn cirkelbevægelse, da legemet ellers vil forsvinde langs en tangent. Kraftens retning må være mod centrum og forårsager derfor en acceleration mod dette. Den acceleration, som er nødvendig for at fremkalde en jævn cirkelbevægelse, afhænger af radius og vinkelhastighed. Kraften, som fremkalder denne acceleration, kaldes for <b>centripetalkraften</b>.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <math display="block">a_{\text{cent}} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r</math> <math display="block">F_{\text{cent}} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r</math> </div> <p>En satellit, som bevæger sig under indflydelse af en gravitationskraft, kan følge en jævn cirkelbevægelse med en omløbstid <math>T</math> givet ved <math>T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM}</math>, hvor <math>M</math> er massen af det legeme, som satellitten roterer omkring. Satellittens masse er således uden betydning.</p> <p>En observatør, som befinder sig i et roterende inertialsystem, føler sig udsat for en "inertiel kraft", som kaldes <b>centrifugalkraften</b>. Læreren kan anvende undervisningsmetoder, som baserer sig på den af de to kræfter, som han foretrækker. Det er ikke dansk tradition at betjene sig af fiktive kræfter.</p>	<p>Ekspérimentel verifikation. Centrifuge, tørretumbler, planetbevægelser, tyngden ved polerne og Ækvator, konisk pendul etc.</p> <p>For fuldstændighedens skyld bør Keplers love nævnes, men det vil være vanskeligt at sætte dem i forbindelse med resten af kurset med mindre roterende legemeroptionen vælges.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>M5 Lineær harmonisk bevægelse.</b>  <b>M5.1 Grundlag.</b></p> <p><b>M5.2 Energiudveksling mellem oscillatorer.</b>  <b>Tid: 10 lektioner (M5)</b></p> <p><b>Afsnit F. Elektriske og magnetiske felter.</b>  <b>F1. Elektrisk felt.</b>  <b>F1.1 Grundlag.</b></p>	<p>Et legeme siges at udføre <b>en lineær harmonisk bevægelse</b>, hvis den er udsat for en kraft, som hele tiden er rettet mod et fast punkt, og som er proportional med afstanden til dette punkt. En tilsvarende definition er, at legemets forskydning fra en ligevægtsstilling varierer som en sinusfunktion med tiden. Eleven skal være i stand til at vise ækvivalensen mellem disse to definitioner.</p> <p>Eksempler på simple harmoniske bevægelser inkluderer simpel pendulbevægelse og bevægelsen af et legeme, som er udsat for en elastisk kraft, med eller uden tyngdekraften.</p> <p>Hvis summen af den kinetiske og den potentielle energi er konstant, vil svingningens amplitude være konstant, og svingningen siges at være <b>udæmpet</b>. Hvis dette ikke er tilfældet, vil amplituden aftage med tiden, typisk på grund af en eller anden form for gnidningskraft.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p><b>Harmonisk bevægelse</b></p> <p>Definition : <math>F_{\text{res}} = -kx</math> eller <math>x = A \sin \omega t</math> (<math>k &gt; 0</math>)</p> <p>Hastighed : <math>v = A\omega \cos \omega t</math></p> <p>Acceleration : <math>a = -A\omega^2 \sin \omega t = -\omega^2 x</math> hvor <math>\omega = 2\pi f = 2\pi / T</math></p> <p>Energi : <math>E = \frac{1}{2} mA^2\omega^2</math></p> </div> <p>En oscillator kan overføre dens bevægelse til en anden oscillator, som den er forbundet med. Har de to oscillatorer samme svingningstid, vil den anden oscillator kunne blive bragt i svingninger. Dette fænomen kaldes <b>resonans</b>. Eksempler og anvendelser bør nævnes, men en kvantitativ gennemgang er ikke nødvendig.</p> <p>Et elektrisk felt siges at eksistere i et område, hvor et legeme udsættes for en kraft, som er proportional med dets ladning. Retningen af det elektriske felt er lig med retningen af den kraft, hvormed en positiv prøve-ladning vil blive påvirket. Feltstyrken defineres som kraft pr. ladning.</p>	<p>Henvis til 3.1 ovenfor.</p> <p><math display="block">v = \omega \cdot \sqrt{A^2 - x^2}</math></p> <p>Ækvivalensen mellem tyngdefelt og elektrisk felt kan fremhæves.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>F1.2 Homogent elektrisk felt.</b></p> <p><b>F1.3 Elektrisk potential og elektrisk potentiel energi.</b></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>Elektrisk feltstyrke</b> Symbol: <math>\vec{E}</math> Enhed: <math>N/C = V/m</math>                      Definition: <math>\vec{E} = \vec{F} / Q</math></p> </div> <p>Et homogent felt er defineret ved, at kraftens størrelse og retning er den samme overalt inden for et område. En god tilnærmelse til et homogent elektrisk felt er det felt, som eksisterer mellem to parallelle metalplader, hvorover der er en spændingsforskel.</p> <p>Definitionen af et elektrisk felt medfører, at en ladning, som bevæger sig parallelt med retningen af det elektriske felt, vil miste eller øge sin energi. Denne energi kaldes den elektriske potentielle energi. Definitionen af spændingsforskel, arbejde og elektrisk feltstyrke fører til simple formler for det arbejde, som udføres under en sådan bevægelse:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>Arbejde udført i et elektrisk felt</b>  <math>A_{el} = Q\Delta U = \vec{F} \cdot \Delta\vec{s} = Q\vec{E} \cdot \Delta\vec{s}</math>, hvis feltet er homogent.</p> </div> <p>Det elektriske <b>potential</b> (eller spænding) i et punkt er lig med den elektriske potentielle energi pr. enheds-ladning i punktet.</p> <p>Som normalt er ved potentiel energi kan man vælge sit nulpunkt vilkårligt. Almindelig brug er, at</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) prøveladninger meget langt væk fra andre legemer, eller</li> <li>b) prøveladninger på en leder, som er forbundet til jord,</li> </ol> <p>vælges til at have den potentielle energi 0 og dermed et potential på 0.</p> <p>Derfor kan de ovenstående ligninger omskrives ved hjælp af potentialer i stedet for spændingsforskelle. Det er vigtigt at skelne mellem det arbejde, der udføres af det elektriske felt, og det arbejde, der udføres af en udefrakommende kraft, som flytter en ladning mod feltretningen.</p>	<p>Elektriske feltlinier.</p> <p>Ækvipotentiaflader.</p> <p>En kvik klasse kan måske uddybe formuleringen af dette emne.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>F1.4 Kuglesymmetrisk elektrisk felt.</b></p> <p><b>Tid: 16 lektioner (F1)</b></p>	<div data-bbox="607 419 1659 560" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Elektrisk potential eller spænding :</b> <math>U_A = \frac{E_A}{Q}</math>, og det nødvendige arbejde for at bevæge en ladning i et elektrisk felt er <math>E_{el}(A \rightarrow B) = Q(U_B - U_A)</math></p> </div> <p>En punktladning (eller en kuglesymmetrisk ladningsfordeling såsom en ladet kugle) er omgivet af et elektrisk felt, hvis feltstyrke er proportional med den totale ladning og med den reciprokke afstand til legemet i anden potens. Feltstyrken afhænger også af en egenskab ved det stof, som ladningen er placeret i, defineret som stoffets <b>permittivitet</b> (også betegnet dielektricitetskonstant).</p> <div data-bbox="674 762 1592 1038" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Feltstyrke omkring en punktladning :</b> <math>E = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2}</math></p> <p><b>Permittivitet :</b> Størrelsen <math>\epsilon</math> er permittiviteteten af det stof, i hvilket ladningen er anbragt</p> <p><b>Relativ permittivitet :</b> Symbol <math>\epsilon_r</math> Enhed : Ingen Definition : <math>\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0</math></p> </div> <p>Mellem to punktladninger med ladningerne <math>Q_1</math> og <math>Q_2</math> i afstanden <math>r</math> virker Coulombkraften:</p> <div data-bbox="835 1142 1431 1283" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Coulombkraften mellem to punktladninger</b></p> <math display="block">F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2}</math> </div>	<p>Diskussion af fortegn for <math>E_{el}(A \rightarrow B)</math>.</p> <p>Man kan behandle kapacitansen og potentialet for en isoleret ladet kugle.</p> <p>Ækvivalensen med et tyngdefelt kan igen udnyttes.</p> <p>Coulombs forsøg.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>F2. Kapacitans.</b> <b>F2.1 Grundlag.</b></p> <p><b>F2.2 Pladekapacitor.</b></p> <p><b>F2.3 Oplagret energi.</b></p>	<p>Enhver leder kan oplades, og som følge deraf ændres dens potential. Hvis et system til at begynde med består af to ledere med samme potential, kan der flyttes ladninger fra den ene til den anden ved hjælp af en udefra kommende påvirkning, f. eks. et batteri eller en spændingsforsyning. Herved skabes der en spændingsforskel mellem de to ledere, som viser sig at være proportional med den overførte ladning. Forholdet mellem de to størrelser defineres som systemets <b>kapacitans</b> (også kaldet kapacitet), og den afhænger af ledernes dimensioner og andre parametre.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p><b>Kapacitans</b> Definition : <math>C = Q/U</math>    Enhed : Farad <math>F = C/V</math></p> </div> <p>To parallelle plader adskilt af et dielektrikum udgør en kapacitor, også kaldet kondensator, som her specielt kaldes en pladekapacitor. Dennes kapacitans afhænger af pladernes areal, deres indbyrdes afstand og af dielektricitetskonstanten for det dielektrikum, som befinder sig mellem pladerne:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p><b>En pladekapacitors kapacitet :</b></p> <math display="block">C = \frac{\epsilon A}{d} \Leftrightarrow \epsilon = \frac{Cd}{A} \quad ; \text{dvs. enheden for } \epsilon \text{ kan skrives som F/m}</math> </div> <p>Der må udføres arbejde for at oplade en kondensator, og derved oplagres energi i form af elektrisk potentiel energi, som kan udnyttes, når man aflader kondensatoren. Den oplagrede energi beregnes ved brug af slutspændingen under opladningsprocessen:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p><b>Energien af en kondensator</b></p> <math display="block">E = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}Q^2 / C</math> </div>	<p>Forsøg med batterier, kapacitorer og modstande. Glimlampe, mikrofoner.</p> <p>Analogi med et vand-reservoir.</p>



KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>F2.4 Op- og afladnings-tid for en kapacitor.</b></p> <p><b>F2.5 Koblinger af kondensatorer.</b></p> <p><b>Tid: 8 lektioner (F2)</b></p> <p><b>F3. Magnetfelter</b></p> <p><b>F3.1 Grundlag.</b></p> <p><b>F3.2 Strømelement.</b></p>	<p>Den oplagrede energi i en kapacitor kan på mange måder sammenlignes med den energi, der er oplagret i en strakt fjeder.</p> <p>Den eksponentielle opladning indføres kvalitativt. Eleven skal være klar over, at den tid, som det tager at oplade en kondensator til en bestemt brøkdel af spændingsforsyningens potential, er proportional med kredsløbets resistans og kapacitans, og at dette tillader brugen af kondensatorer som tidsmålere. Man kan udlede et udtryk for <b>tidskonstanten</b>, som kun afhænger af resistans og kapacitans.</p> <p>Hvis man parallelforbinder pladekapacitorer, er erstatningskapacitansen lig den samlede kapacitans, hvorimod en seriekobling af pladekapacitorer vil reducere den samlede kapacitans.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>Parallelkobling :</b> <math>C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots</math></p> <p><b>Seriekobling :</b> <math>\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots</math></p> <p><b>Tidskonstant :</b> <math>T = RC</math></p> </div> <p><i>Alle formler i forbindelse med elektromagnetisme gives på skalarform, og der gøres ikke forsøg på at bruge en korrekt vektorbeskrivelse.</i></p> <p>Repetition af programmet fra 5. klasse med magnetfelter skabt af en strømførende ledning, idet der dog her tages hensyn til det vektorielle aspekt.</p> <p>Et strømelement, dvs. en uendelig kort strømførende ledning (også betegnet lederstykke), anbragt i et magnetisk felt bliver påvirket af en kraft, som er proportional med strømstyrken og længden af lederstykket, og som varierer med styrken af det magnetiske felt. Dette tillader indførelsen af en størrelse kaldet <b>den magnetiske induktion</b>, der er defineret som kraften per enhedsstrømstyrke og enhedslængde.</p>	<p>Hvis klassens niveau tillader det, kan man udlede den eksponentielle lov for afladning.</p> <p>En god klasse kan måske gennemføre en streng matematisk behandling.</p> <p>Biot-Savarts lov kan introduceres.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>F3.3 Homogent magnetisk felt. Solenoide.</b></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>Magnetisk induktion eller fluxtæthed</b>                      Symbol <math>B</math>    Enhed : tesla = N/Am  <math>F = BI\Delta l \sin \theta</math></p> </div> <p>I midten af en lang solenoide er det magnetiske felt homogent og afhænger af strømstyrken og antallet af vindinger per længdeenhed. Ligeledes afhænger den af en størrelse kaldet permeabilitet.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>Magnetisk induktion i en solenoide :</b> <math>B = \mu nI = \mu NI / l</math>                      I vakuum og tilnærmelsesvis for luft gælder : <math>\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T/Am}</math>  <b>Permeabilitet :</b> Størrelsen <math>\mu</math> kaldes stoffets permeabilitet.  <b>Relativ permeabilitet :</b>    Symbol : <math>\mu_r</math>    Enhed : Ingen    Definition : <math>\mu_r = \mu / \mu_0</math></p> </div>	<p>Ekspérimentelt arbejde.</p> <p>Hall-spændingen er produktet af <math>B</math>, farten <math>v</math> og bredden af lederen.                      I dopede halvledere og i væsker kan ladningsbærere være af begge slags.</p>
<p><b>F3.4 Bevægede ladninger i et magnetfelt.</b></p>	<p>Ladede partikler, som bevæger sig vinkelret på et magnetisk felt, skaber en strøm og er påvirket af den ovenfor nævnte kraft. Derfor vil ladninger, som bevæger sig vinkelret på et magnetisk felt, være udsat for en afbøjning, som igen forårsager skabelsen af en spændingsforskel over lederen, kendt som den inducerede elektromotoriske kraft <b>emk</b>. Retningen af denne spændingsforskel tillader en bestemmelse af fortegnet for de væsentligste ladningsbærere i et stof. I metaller er den negativ. Der angives en praktisk metode til bestemmelse af den elektromotoriske krafts retning.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>Bevæget ladning i et magnetfelt :</b> <math>F = qvB \sin \theta</math></p> </div>	

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>F3.5 Elektromagnetisk induktion.</b></p>	<p>Den magnetiske induktion kan hensigtsmæssigt beskrives ved feltlinier, hvis tæthed er et mål for den magnetiske induktion. Den magnetiske flux betegnes med <math>\Phi</math>.</p> <p>Hvis et lederstykke bevæges vinkelret på et magnetfelt, vil der induceres en spændingsforskel over det. Der induceres også en spænding, hvis fluxen gennem en vinding ændres, og de to processer kan betragtes som ækvivalente. Fænomenet kendes som <b>elektromagnetisk induktion</b>. Energibevarelse medfører, at enhver resulterende strøm har en sådan retning, at den forsøger at modvirke den ændring, som skaber den (Lenz' lov). Dette fænomen bruges f. eks. i en dynamo.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>Magnetisk flux :</b></p> <p><b>Symbol :</b> <math>\Phi</math>    <b>Enhed :</b> weber <math>\text{Wb} = \text{Tm}^2 = \text{Vs}</math></p> <math display="block">B = \Phi / A, \text{ hvor } \vec{B} \perp \vec{A}</math> <p><b>Induceret emk</b>      <math>\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -A \frac{\Delta B}{\Delta t} = Bvl</math></p> </div> <p>(NB: Der skal udvises forsigtighed ved oversættelsen af begrebet emk, idet det ser ud til, at ikke alle moderne fysikbøger bruger dette begreb.)</p> <p>En varierende strøm i en solenoide vil forårsage et varierende magnetfelt langs dens akse. Der vil derfor induceres en elektromotorisk spænding, og denne emk vil være proportional med ændringen i strømstyrken (selvinduktion) og i en tilstødende, men ikke elektrisk forbundet kredsløb (gensidig induktion). Dette princip anvendes i en transformator.</p>	<p>Det er ikke hensigtsmæssigt at benytte definitioner af flux og induktion, som vil kræve, at weber må defineres før tesla. Det er nok at kunne regne med størrelserne.</p> <p>Hvis klassen ikke har vekselstrøm som valgfrit emne, kan der stadig være tid til at behandle energitransport.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>Tid: 16 lektioner (F3)</b></p> <p><b>Afsnit O.</b>  <b>Valgfrie emner.</b>  <i>Der skal vælges et af disse emner til gennemgang.</i></p> <p><b>O1. Roterende stive legemers mekanik.</b></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Selvinduktion og gensidig induktion :</b></p> <p>Symbol : <math>L, M</math>      Enhed : henry = H = Vs/A = Wb/A</p> <p>I en kreds :      <math>U \propto \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt}</math></p> <p>Mellem to kredse :      <math>U \propto \frac{d\Phi}{dt} = -M \frac{di}{dt}</math></p> </div> <p>Betingelser for ligevægt for et stift legeme: Vægtstangsprincippet.</p> <p>Rotationskinematik:      vinkelhastighed <math>\omega</math>, vinkelacceleration <math>\alpha</math>.</p> $\left\{ \begin{array}{l} \omega = \omega_0 + \alpha t \\ \theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \\ \theta = \frac{1}{2} (\omega_0 + \omega) t \\ \text{etc.} \end{array} \right.$ <p>Rotationsenergi og inertimoment</p> $I = \sum mr^2$ $E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} I \omega^2$ <p>Inertimoment for simple legemer: punkt, ring, skive, stang, kugle.</p> <p>Steiners sætning (på fransk Huygens' sætning!) :      <math>I = I_{\text{CM}} + Md^2</math></p> <p>Rotationsdynamik og kraftmoment <math>M</math>:</p> $M = I\alpha$ $M\Delta t = \Delta I\omega$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>O2. Vekselstrømskredse</b>  <b>O2.1 Frembringelse af vekselstrøm.</b>   <b>O2.2 Effektivværdi af strøm og spænding.</b>   <b>O2.3 Faseforskel mellem U og I. Impedans. Frekvensafhængighed.</b></p>	<p>Impulsmoment og dets bevarelse: <math>L = I\omega</math></p> <p>(NB: <i>En simpel behandling i 2 dimensioner kan ignorere kraftmomentets vektornatur og behandle den som positiv eller negativ, afhængig af om rotationen er med eller mod uret. Dette udelukker naturligvis ikke den fulde brug af <math>\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}</math> og af vektornaturen af de indgående vinkelstørrelser.</i>)</p> <p>Når en spole roterer i et homogent magnetfelt, vil der skabes en vekselstrøm.</p> $u = U_0 \sin \omega t \quad ; \quad \omega = 2\pi f = 2\pi / T$ <p>Den effektive værdi af en vekselspænding eller vekselstrøm svarer til den jævnspænding, der udvikler samme effekt. For sinusformede vekselspændinger gælder</p> $I_{\text{eff}} = I_0 / \sqrt{2}$ $U_{\text{eff}} = U_0 / \sqrt{2}$ <p>Impedansen <math>Z</math> for en elektrisk komponent eller kredsløb defineres som <math>Z = U_0 / I_0 = U_{\text{eff}} / I_{\text{eff}}</math>. For en ren resistor er <math>Z = R</math>, men for komponenter som en induktor eller kapacitor er impedansen frekvensafhængig, og der er en faseforskel <math>\Delta\phi</math> mellem <math>u</math> og <math>i</math>.</p> $Z_C = \frac{1}{\omega C} \quad \Delta\phi = -\pi/2 \quad u \text{ følger efter } i$ $Z_L = \omega L \quad \Delta\phi = \pi/2 \quad u \text{ er foran } i$	

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>O2.4 RLC-kreds.</b></p> <p><b>O2.5 Resonans. Oscillator.</b></p>	<p>Forsøg med kredsløb bestående af resistor, induktor og kapacitor viser, at ved høje eller lave frekvenser dominerer et af leddene <math>Z_C</math> eller <math>Z_L</math>, hvilket forårsager en faseforskel, som er henholdsvis positiv eller negativ.</p> $Z = \sqrt{R^2 + (Z_C - Z_L)^2}$ <p>Ved en bestemt frekvens bliver impedansen rent ohmsk, og faseforskellen er 0. Dette <b>resonansfænomen</b> er karakteriseret ved en minimum impedans. <b>Resonansen</b> finder sted for</p> $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ <p>I en idealsituation med <math>R = 0</math> vil <math>Z</math> være lig 0 ved resonans. Derfor vil selvforstærkende svingninger kunne opstå, hvis generatoren bliver erstattet af en kreds.</p>	
<p><b>O3. Kinetisk teori og termodynamik.</b></p> <p><b>O3.1 Grundlag. Absolut nulpunkt.</b></p> <p><b>O3.2 Egenskaber ved temperatur.</b></p> <p><b>O3.3 Termodynamikkens 0' te lov.</b></p> <p><b>O3.4 Idealgasmodel og dens begrænsninger.</b></p>	<p>Repetition af 5. klasses program. Varme i form af molekylers indre energi, temperatur. Den endelige størrelse af indre energi medfører, at der kun kan fjernes en begrænset mængde energi, hvilket betyder, at der må være en nedre grænse for temperaturen.</p> <p>En temperaturforskel er den faktor, som kan få energi til at bevæge sig fra et system til et andet.</p> <p>Hvis to systemer hver har samme temperatur som et tredje, har de to samme temperatur, men de besidder ikke nødvendigvis den samme mængde indre energi.</p> <p>Trykket i en idealgas. Simpel udledning ud fra grundlæggende ideer om tryk og impuls for en sådan gas.</p> $P = \frac{1}{3} Nm \langle c^2 \rangle$ , hvor $P$ er gastrykket, $N$ antallet af molekyler og $m$ molekylmassen.	

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>Absolut nulpunkt.</b></p>	<p>Denne ligning medfører, at <math>PV</math> er proportional med <math>mc^2</math>, som igen kan betragtes som værende proportional med indre energi og dermed temperatur i en simpel model med konstant specifik varmekapacitet. En sådan model medfører et absolut nulpunkt, som kan beregnes til ca. <math>-273^\circ\text{C}</math>. I en reel gas ved lavt tryk med en stor fri middelvejlængde vil idealgastilnærmelsen være god.</p> <p style="text-align: center;"><i><math>PV/T</math> har en konstant værdi for en given gasmasse.</i></p>	
<p><b>O3.5 Reversibilitet. Orden, entropi.</b></p>	<p>Nogle forandringer i naturen (forbrænding, gasblanding...) kan ikke foregå i modsat retning, uden at der tilføres betydelige energimængder. Alle mekaniske processer medfører gnidningskræfter af en eller anden slags, og der mistes energi til omgivelserne i form af varme. Tilsyneladende reversible bevægelser (pendul) er det kun tilnærmelsesvis. Alle af sig selv forekommende processer har en tendens til at gå fra højt organiserede tilstande til mindre organiserede tilstande. Størrelsen <b>entropi</b> er et mål for uordenen i et system. Entropien vokser i naturlige irreversible processer.</p>	
<p><b>O3.6 Termodynamikkens 2. hovedsætning.</b></p>	<p>Arbejde kan fuldstændigt omdannes til varme, men det omvendte gælder ikke. Derfor øger naturen sin varmeenergi hele tiden og kan ikke komme af med den igen uden indgriben udefra. Dette er <b>termodynamikkens 2. hovedsætning</b> og er ækvivalent med påstanden om, at der ikke af sig selv kan overføres varme fra et system med lavere temperatur til et system med højere temperatur. (Dette ville medføre aftagende entropi).</p>	
<p><b>O3.7 Motorer, vinde arbejde fra varme. Termodynamikkens 1. hovedsætning.</b></p>	<p>Indre energi hos en gas kan delvis laves om til varme. Her er brug for såvel et koldt system, som kan optage varme som et system med højere temperatur, i overensstemmelse med erfaringen og med 2. hovedsætning. Det er en teoretisk umulighed at opfinde en motor, som ikke varmer omgivelserne op, både gennem gnidning og fra kemisk energi.</p>	
<p><b>O4. Speciel relativitet. O4.1 Relativitetsprincippet.</b></p>	<p>Bevægelse observeret i og uden for et bevæget system. Inertialsystemer.</p>	
<p><b>O4.2 Lysets hastighed.</b></p>	<p>Einstein antog, at lysets hastighed er konstant i alle inertialsystemer, og eksperimenter understøtter denne antagelse. Lyshastigheden er en universalkonstant.</p>	

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde	MULIGE METODER
<p><b>O4.2.1 Tidens relativitet.</b></p> <p><b>O4.2.2 Længdens relativitet.</b></p> <p><b>O4.2.3 Masse-energi relationen.</b></p> <p><b>Tid: 12 lektioner (O)</b></p>	<p>Lysets konstante hastighed har konsekvenser for de fysiske størrelser længde, tid og masse i forskellige inertialsystemer.</p> <p>For en observatør, som bevæger sig med hastigheden <math>v</math> i forhold til et inertialsystem, vil begivenheder i inertialsystemet opfattes som foregående langsommere end for en observatør, som er i hvile i forhold til inertialsystemet. Den observerede tid <math>\Delta t</math> har følgende sammenhæng med den såkaldte egentid <math>\Delta t_0</math>:</p> $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma \cdot \Delta t_0, \text{ hvor } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ (Lorentz-forkortningen).}$ <p>Tilsvarende vil observerede længder i en retning parallel med den relative hastighed <math>v</math> være forkortet med faktoren <math>\gamma</math>:</p> $\Delta l = \Delta l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{\Delta l_0}{\gamma}$ <p>Massen af et legeme afhænger også af den relative bevægelse:</p> $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 \cdot \gamma$ <p>Generelt er en masse <math>m</math> ækvivalent med en energi <math>E</math>, som betyder, at de klassiske love om masse- og energibevarelse kan sammenfattes i en lov:</p> $E = mc^2$ <p>En tilvækst <math>\Delta m</math> i massen af et bevæget legeme svarer til en tilvækst i kinetisk energi: <math>\Delta E = \Delta m \cdot c^2</math></p>	<p>Lorentz-forkortningen.</p>



KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p>Afsnit F. Felter.</p> <p><b>F1. Energi i et kuglesymmetrisk felt.</b></p> <p><b>F1.1 Gravitationsfelt.</b></p> <p><b>F1.2 Elektrisk felt.</b></p>	<p><b>7. klasses pensum.</b></p> <p><b>Formler givet i kasser må bruges uden bevis i besvarelsen af studentereksamensspørgsmål. Kandidaterne til studentereksamen kan blive bedt om at udlede andre formler. Tidsforbruget er anbefalinger, men ikke obligatorisk.</b></p> <p>For at flytte to masser <math>m_1</math> og <math>m_2</math> fra en afstand <math>r_a</math> til en afstand <math>r_b</math>, kræves der et arbejde givet ved</p> $A = Gm_1m_2 \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right)$ <p>Repetition af pensum fra 6. klasse, afsnittene M2.4, M2.5 og M4.3. Sædvanligvis vælges den potentielle energi hidrørende fra et tyngdefelt som værende nul uendelig langt borte. Dette medfører, at potentiel energi hidrørende fra et tyngdefelt bliver negativ, da tiltrækningskraften er positiv.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p><b>Potentiel energi i et tyngdefelt</b></p> <math display="block">E_{\text{pot}} = -G \frac{m_1 m_2}{r} \text{ i et kuglesymmetrisk felt}</math> </div> <p>Undvigelsesfarten for et legeme i afstanden <math>r</math> fra en planet med massen <math>M</math> er derfor givet ved <math>v_{\text{esc}} = \sqrt{2 \frac{GM}{r}}</math>.</p> <p>Mekanikkens love for cirkulær bevægelse medfører, at den kinetiske energi for et legeme i omløb er <math>E_{\text{kin}} = G \frac{m_1 m_2}{2r}</math>, hvoraf man finder legemets totale mekaniske energi som <math>E_{\text{tot}} = E_{\text{mek}} = -G \frac{m_1 m_2}{2r}</math>.</p> <p>På ganske tilsvarende vis findes den totale energi for en ladet partikel, som bevæger sig omkring en meget tung ladet partikel:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p><b>Elektrisk potentiel energi</b> <math>E_{\text{pot}} = -\frac{Q_1 Q_2}{8\pi\epsilon_0 r}</math> i et kuglesymmetrisk felt.</p> </div>	<p>Tyngdepotential kan indføres.</p> <p>Beregning af Solens og planeters masse. Banehastighed. Rejsen til Månen.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p><b>F1.3 Elektronvolt.</b></p>	<p>For partikler af atomare eller subatomare dimensioner er det formålstjenligt at måle energi i en mindre enhed end joule. Energien af en partikel med 1 elementarladning, som accelereres fra hvile gennem en spændingsforskel på 1 V, defineres som 1 elektronvolt, forkortet 1 eV.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>Elektronvolt</b>      Enhed: eV                      Definition:        Den energi, som en elektron har modtaget ved acceleration gennem en spændingsforskel på 1 V.</p> </div>	
<p><b>F2. Energi i et homogent felt.</b></p>	<p>Repetition af pensum fra 4. og 5. klasse og fra 6. klasse M3.1.</p>	
<p><b>F2.1 Homogent tyngdefelt.</b></p>	<p>Repetition fra 6. klasse af F1.1 – F1.3</p>	
<p><b>F2.2 Homogent elektrisk felt.</b></p>	<p>Da kraften på en bevæget ladet partikel i et magnetfelt er vinkelret på dens hastighedsvektor, udføres der ikke noget arbejde, og den kinetiske energi er derfor konstant.</p>	
<p><b>F2.3 Magnetisk felt.</b></p>	<p>Repetition fra 6. klasse af M1.4</p>	
<p><b>F3. Bevægelse af partikel i et felt.</b></p>	<p>En ladet partikels bevægelse i et homogent elektrisk felt er en parabel som i tyngdefeltet med mindre <math>\vec{E} \parallel \vec{v}</math>.</p>	<p>Analogi med frit fald og med ballistiske problemer. Den lineære accelerator.</p>
<p><b>F3.1 Homogent tyngdefelt.</b></p>	<p>De ligninger, som styrer en ladet partikels bevægelse i et magnetisk felt, medfører, at den generelle bevægelse er en spiral. Den bliver til en cirkel, hvis hastighed og felt er vinkelret på hinanden, eller til en ret linie, hvis de er parallelle.</p>	
<p><b>F3.2 Homogent elektrisk felt.</b></p>	<p>Radius i cirkelbevægelsen er givet som <math>r = \frac{mv}{qB}</math>. (NB. Her såvel som andre steder er det ikke nødvendigt med en</p>	
<p><b>F3.3 Homogent magnetfelt.</b></p>	<p>streng vektorbehandling, men eleverne skal være i stand til at udlede de relevante kraftretninger.)</p>	

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p><b>F3.4 Anvendelser</b></p> <p><b>Tid: 32 lektioner (F)</b></p> <p><b>Afsnit W. Bølger</b></p> <p><b>W1. Grundlag.</b></p> <p><b>W1.1 Definitioner. Harmoniske svingninger.</b></p> <p><b>W1.2 Ligningen for en fremadskridende bølge.</b></p>	<p>Et magnetfelt kan bruges til at separere partikler efter deres masse som i et massespektrometer. Elektriske felter kan bruges til at accelerere partikler som i en elektronkanon. Elektriske og magnetiske felter kan bruges til at afbøje dem som i et oscilloskop eller i et fjernsynsrør. Kombinerede elektriske og magnetiske felter kan bruges til at udvælge partikler med en bestemt hastighed eller til at accelerere dem som i en cyklotron. Andre simple anvendelser, hvor felterne ikke nødvendigvis er vinkelrette på hinanden, kan forekomme ligesom tilfælde, hvor partikler kommer skråt ind i et felt.</p> <p>Et system af oscillatorer, som er arrangeret på en sådan måde, at energi kan udbredes ved en eller anden mekanisme til nabooscillatorer, kan give anledning til udbredelse af <b>fremadskridende bølger</b>. Energien transporteres uden stoftransport.</p> <p>Bølger kan være af <b>transversal</b> eller <b>longitudinal</b> natur, afhængig af om forstyrrelsen er vinkelret eller parallel med udbredelsesretningen.</p> <p>Hvis udsvinget (elongationen) <math>y</math> af en given oscillator er givet ved <math>y = A \sin \omega t</math> (se 6. klasse), betegnes den som en harmonisk eller sinusformet oscillator, og <math>\omega t</math> betegnes som <b>fasevinklen</b>. Udsvinget af en nabooscillator vil have den samme amplitude, idet vi ser bort fra energitab, men en anden fasevinkel. Dens udsving vil derfor være lig med <math>y_{nabo} = A \sin(t - \Delta\phi)</math>, hvor <math>\Delta\phi</math> er forskellen i fasevinkel, også kaldet fasedifferens. Fasevinklen varierer lineært med udsvinget i udbredelsesretningen af bølgen til et givet tidspunkt.</p> <p>For en fremadskridende bølge gælder der, at fasevinklen for en given oscillator ændres med <math>2\pi</math> i tiden <math>2\pi/\omega</math>, som svarer til <b>svingningstiden</b> eller <b>perioden</b> <math>T</math>, og at fasevinklen ændres med <math>2\pi</math> i afstanden <math>\lambda</math>, som betegnes <b>bølgelængden</b>.</p> <p>To oscillatorer i afstanden <math>\Delta x</math> fra hinanden og en tidsforskel <math>\Delta t</math> har faseforskellen</p> $\Delta\phi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} - 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda}.$ <p>Bølgeligningen for en fremadskridende bølge er <math>y = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)</math></p> <p>En bølge kan således beskrives som værende dobbeltperiodisk (i rum og tid).</p>	<p>Andre accelerators, f.eks. synkrotronen. Elektronmikroskop. Magnetiske linser. Millikans forsøg.</p> <p>Forsøg med koblede penduler etc.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p><b>W1.3 Huygens' princip.</b></p>	<p>Udbredelseshastigheden for en bølge er <math>v = \lambda/T = \lambda f</math> og udtrykker hastigheden af en bølgetop eller et andet punkt for en given fasevinkel.</p> <p>Ethvert punkt af en bølgefront kan opfattes som et bølgecentrum, hvorfra der udbreder sig ringbølger (elementarbølger), hvis fælles front danner den resulterende bølgefront.</p> <p>Generel bemærkning: <i>Bølgebegrebet tillader meget forskellige fysiske fænomener at blive beskrevet ved temmelig ens bølgebeskrivelser. Dette aspekt skal fremhæves i dette afsnit ved at understrege for eksempel ligheden mellem udbredelse af radio- og lydbølger, snarere end deres modsætninger.</i></p>	
<p><b>W1.4 Eksempler.</b></p>	<p>Lydbølger eller akustiske bølger kan udbrede sig i faste stoffer, væsker og gasser. I luft er udbredelseshastigheden omkring 340 m/s ved stuetemperatur, men afhænger af temperaturen. Lydbølger er longitudinale i gasser. Transversalbølger kan frembringes på en snor (streng) med en hastighed, som afhænger af snorspænding og masse pr. længdeenhed.</p>	<p>Hastighed af bølger på streng:  <math>v^2 = \frac{F}{\mu}</math>, hvor <math>\mu = \frac{m}{l}</math> er massen per længdeenhed.</p>
<p><b>W2. Opførsel.</b> <b>W2.1 Grundlag.</b></p>	<p>Elektromagnetiske bølger spænder over et meget stort frekvensområde og kan bruges til at bære information (radiobølger), til at se ved (lys) og til medicinske formål (røntgenstråler) alt afhængig af frekvensen. De er transversale, kan udbrede sig i lufttomt rum og gør det med en udbredelseshastighed <math>c</math>, som er en af de fundamentale konstanter i fysikken. Det er ikke nødvendigt her at gennemgå, hvorfor de kaldes elektromagnetiske bølger, og hvorledes de frembringes.</p>	<p>Hastighed af lydbølge:  <math>v \propto \sqrt{T}</math>, hvor <math>T</math> er den absolutte temperatur.</p>
<p><b>W2.2 Brydning.</b></p>	<p>Brydning, refleksion, diffraktion, interferens og Doppler-effekt kan observeres for alle bølger.</p> <p>Et bølgetog, som ændrer hastighed på grund af f.eks. en ændring af stof, som de går igennem, vil få ændret deres bølgelængde, men ikke frekvens. Ved et skråt indfald fører dette til en ændring af udbredelsesretning. Hvis vinklerne med indfaldsloddet kaldes <math>\alpha</math> og <math>\beta</math> og hastighederne <math>c_1</math> og <math>c_2</math> i de to stoffer, haves brydningsloven</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <p><b>Brydningsindeks for et stof</b>      Symbol: <math>n</math></p> <p>Definition: <math>n = \frac{c}{c'}</math> hvor <math>c</math> er bølgehastighed i vakuum, <math>c'</math> i stoffet.</p> </div> <p><math>\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}</math>    og</p>	<p>Disse fænomener bør demonstreres med så mange forskellige bølger som muligt. (Lys, lyd, bølgekar, mikrobølger, ultralyd..)</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p><b>W2.3 Refleksion.</b></p> <p><b>W2.4 Diffraction.</b></p> <p><b>W2.5 Interferens.</b> <b>W2.5.1 Grundlag.</b></p> <p><b>W2.5.2 Kohærens.</b></p> <p><b>W2.5.3 Stående bølger.</b></p>	<p>Et bølgetog reflekteres fra en overflade, således at indfaldsvinkel er lig udfaldsvinkel. Hvis refleksionen sker fra en overflade, i hvilket bølgens udbredelsehastighed ville blive mindre, sker der samtidigt et <b>faseskift</b> på <math>\pi</math>.</p> <p>Et bølgetog, som går gennem en spalte, vil spredes ud i en grad, som afhænger af bølgelængden og af spaltens bredde. Denne effekt er en funktion af forholdet <math>\lambda/d</math>, hvor <math>d</math> angiver spaltebredden. En tilsvarende effekt finder sted, når et bølgetog møder en forhindring.</p> <p>To bølger, som befinder sig samme sted til samme tid, vil give anledning til et resulterende udsving, som er summen af de enkelte udsving. Dette kaldes <b>superpositionsprincippet</b>. Hvis resultatet er en forøgelse af udsvinget, tales der om <b>konstruktiv interferens</b>, medens en formindskelse af udsvingets størrelse kaldes <b>destruktiv interferens</b>. Når to ens bølger interfererer, vil den resulterende bølge have et udslag, som ligger mellem 0 og det dobbelte af den enkelte bølges udsving. Hvis de to bølgegivere befinder sig i punkterne <math>A</math> og <math>B</math> og er i fase, så vil der være konstruktiv interferens i de punkter <math>P</math>, for hvilke der gælder, at vejlængdeforskellen er et helt antal bølgelængder, medens der er destruktiv interferens, når vejlængdeforskellen er et ulige antal halve bølgelængder.</p> <p>Et stabilt interferensmønster forårsaget af to bølger kan kun iagttages, hvis de to bølger har en konstant faseforskel. Hvis denne er 0, siges bølgerne at være kohærente. Og kilderne kaldes så tilsvarende kohærente bølgegivere.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>Vejlængdeforskel</b>    Symbol : <math>\delta</math>    Enhed : m</p> <p>Definition :    <math>\delta =  PA - PB </math> i et punkt <math>P</math>,</p> <p>og hvor <math>A</math> og <math>B</math> angiver positionen af de to bølgegivere.</p> </div> <p>Stående bølger opstår, når to ens modsat rettede bølger interfererer. <b>Knuder</b> og <b>buge</b> er punkter, hvor der er hhv. destruktiv og konstruktiv interferens, og de ligger fast. Bølgerne må udgå fra kohærente kilder, men de kan være af en vilkårlig frekvens. Der er en halv bølgelængde mellem naboknuder, ligesom der er det mellem nabobuge. (NB: På fransk anvendes stationære bølger tilsyneladende kun i forbindelse med begrænsede medier, hvor en reflekteret bølge interfererer med den indkommende bølge. Derfor skal der passes på i forbindelse med oversættelse af opgaver.)</p>	<p>Stød.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p><b>W2.5.4 Begrænsede medier. Grundtoner, overtoner.</b></p>	<p>Et meget vigtigt område er stående bølger, hvor bølgerne udbreder sig i et begrænset stof. En betingelse for stående bølger må være, at de opfylder de fysiske betingelser, som påtvinges ved grænsen. Kun ganske bestemte frekvenser kan give stående bølger med en ikke-forsvindende amplitude. Den lavest mulige frekvens kaldes <b>grundfrekvensen</b> eller <b>grundtonen</b>, de andre frekvenser betegnes <b>overtoner</b>, og deres frekvenser har et simpelt forhold til grundfrekvensen. I den følgende formel betegner <math>n</math> nummeret på overtonen, <math>\lambda_0</math> er grundtonens bølgelængde, og <math>L</math> angiver strengens eller rørets længde. (NB. <i>Brugen af begreberne grundtone og overtone varierer fra sprogsektion til sprogsektion. Der skal derfor udvises omhu i forbindelse med udarbejdelsen af eksamensopgaver.</i>)</p> <p>På en streng eller i et åbent rør: <math>\lambda_n = \frac{\lambda_0}{n+1} = \frac{2L}{n+1}</math>. Her er der knude i begge ender eller bug i begge ender.</p> <p>I et halvåbent/halvlukket rør: <math>\lambda_n = \frac{\lambda_0}{2n+1} = \frac{4L}{2n+1}</math>. Her er der knude i den ene ende og bug i den anden.</p>	<p>Resonansrør, Melde, Kundt. Orgelpiber, blæseinstrumenter, strygeinstrumenter.</p>
<p><b>W2.5.5 Interferens mellem to bølgegivere.</b></p>	<p>To kohærente bølgegivere befinder sig i punkterne <math>A</math> og <math>B</math>, hvis indbyrdes afstand er <math>d</math>. Der kan da eksistere en stående bølge langs <math>AB</math> (se ovenfor), men for alle andre punkter, som ikke ligger på <math>AB</math>, vil der være et system af fremadskridende bølger, som er symmetrisk omkring <math>AB</math>'s midtnormal.</p> <p>En observatør, som befinder sig langt fra <math>AB</math> sammenlignet med afstanden <math>d</math>, vil kunne bestemme vejlængdeforskellen <math>\delta</math> i en vinkel <math>\theta</math> med midtnormalen som <math>\delta = d \sin \theta</math>.</p> <p>Der vil derfor være bølger med stor amplitude på grund af konstruktiv interferens i de punkter, hvorom der gælder, at <math>\sin \theta_k = \frac{k\lambda}{d}</math>, hvor <math>k</math> kaldes afbøjningens <b>orden</b>.</p> <p>Bølger med lille amplitude på grund af destruktiv interferens vil findes i de punkter, hvor <math>\sin \theta_k = \frac{(2k-1)\lambda}{2d}</math>.</p>	<p>Diffraction i en enkelt spalte kan behandles, hvis gruppens niveau tillader det.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p><b>W2.5.6 Gitter.</b></p> <p><b>W2.6 Doppler effekt.</b></p> <p><b>Tid: 34 lektioner (W)</b></p> <p><b>Afsnit D.</b>  <b>Den duale natur af stof og stråling.</b>  <b>D1. Grundlag.</b>  <b>D2. Fotoner.</b>  <b>D2.1 Fotoelektrisk effekt.</b></p>	<p>Hvis der gælder, at vinklen <math>\theta</math> er lille og <math>D</math> angiver iagttagerens afstand fra <math>AB</math>, får man:</p> $\sin \theta_k \approx \theta_k \approx \tan \theta_k = \frac{x_k}{D} = \frac{k\lambda}{d}$ <p>for maksimum intensitet, hvor <math>x_k</math> angiver afstanden fra 0'te orden ud til det <math>k</math>'te maksimum. Heraf følger, at der er lige stor afstand mellem to på hinanden følgende maksima, nemlig <math>\frac{D\lambda}{d}</math>.</p> <p>Ved et gitter observeres maksima af større intensitet for de samme vinkler og afstande som ved dobbeltspalten, ligesom bredden af maksimummet snævres ind, hvorved det er lettere at lokalisere det. En detaljeret behandling af forskellen mellem et gitter og en dobbeltspalte er ikke påkrævet.</p> <p>Når en bølgekilde <math>S</math> med frekvensen <math>f_0</math> og en iagttager <math>O</math> bevæger sig parallelt med <math>OS</math> i forhold til hinanden, vil den observerede frekvens <math>f'</math> være givet ved <math>f' = c'/\lambda'</math>, hvor <math>c'</math> og <math>\lambda'</math> er den observerede hastighed og bølgelængde. Den observerede frekvens afhænger af, om bølge giver og iagttager bevæger sig mod eller væk fra hinanden.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p><b>Iagttaget frekvensændring, når kilde og iagttager nærmer sig hinanden :</b></p> <math display="block">\frac{\Delta f}{f} = \frac{v}{c}</math> <p>for <math>v \ll c</math>, hvor <math>v</math> er den relative hastighed og <math>c</math> bølgehastigheden.</p> </div> <p>Normalt betragtes elektroner og andre partikler som objekter med masse, mens stråling såsom lys opfattes som en bølgeudbredelse på grund af de fænomener, som er beskrevet ovenfor. Imidlertid viser det sig, at under visse forhold må deres opførsel medføre en omvendning af disse modeller.</p> <p>Elektroner kan udsendes fra en belyst, ren metalplade på en sådan måde, at det ikke kan forklares ved at opfatte lys som bølger. Der emitteres slet ingen elektroner, når lyset har en frekvens, som er mindre end en bestemt frekvens, kaldet <b>grænsefrekvens</b> eller <b>tærskelfrekvens</b>. Over denne frekvens udsendes der straks elektroner, hvis maksimale kinetiske energi afhænger lineært af lysets frekvens, og hvor antallet af elektroner afhænger af lysets intensitet. Tærskelfrekvensen varierer fra metal til metal.</p>	<p>Refraktometer, Michelson-interferometer, Lloyds spejl, Fresnel.</p> <p>En dygtig klasse kan behandle både bevæget kilde og bevæget iagttager for lyd.</p> <p>Afladning af elektroskop ved belysning.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p><b>D2.2 Måling af Plancks konstant</b></p> <p><b>D2.3 Fotonimpuls.</b></p> <p><b>D3. Partiklers bølgeegenskaber.</b></p> <p><b>D3.1 Diffraction af partikler.</b></p> <p><b>D3.2 de Broglie bølgelængde.</b></p>	<p>Denne opførelse kan fuldt ud forklares, både kvantitativt og kvalitativt, hvis man opfatter lys som bestående af <b>fotoner</b>, hvis energi afhænger direkte af den klassiske frekvens.</p> <p>Et givet metal har en grænseværdi for energi, og fotoner med mindre energi end denne kan ikke løsrive elektroner. Denne størrelse kaldes metallets <b>løsrivelsesarbejde</b> <math>A_L</math>.</p> <p>Antallet og den maksimale kinetiske energi af de udsendte elektroner kan måles ved hjælp af en fotocelle og brug af passende spændingsforsyninger og måleinstrumenter. Eleverne skal kende dette eksperiment og dets brug til bestemmelse af Plancks konstant.</p> $hf = A_L + E_{\text{kin}} = A_L + \frac{1}{2}mv^2 = A_L + eU_{\text{stop}} \text{ og } A_L = hf_0$ <p>En foton har en <b>impuls</b>, som forøges med aftagende bølgelængde.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p><b>Løsrivelsesarbejde</b> Symbol: <math>A_L</math> Enhed: joule J, men normalt bruges eV</p> <p>Definition: Den mindste energi nødvendig for at løsrive elektroner fra et metals overflade</p> <p><b>Fotonenergi</b> <math>E = hf</math>, hvor <math>h</math> er Plancks konstant</p> <p><b>Fotonimpuls</b> <math>p = \frac{h}{\lambda}</math></p> </div> <p>En stråle af partikler med lille masse udviser bølgelignende egenskaber og er i stand til at lave diffraction og interferere ligesom lysstråler.</p> <p>Opførelsen af sådanne partikler kan kvantitativt beskrives, hvis de tilskrives en <b>de Broglie-bølgelængde</b>, som er omvendt proportional med impulsen, som svarer til udtrykket for fotonimpuls ovenfor.</p>	<p>Solsejl, solvind, Crookes radiometer. Comptoneffekt.</p>



KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p><b>D3.3 Anvendelser.</b>  <b>Tid: 14 lektioner (D)</b></p> <p><b>Afsnit A. Atomfysik.</b>  <b>A1. Grundlag.</b>  <b>A2. Serier.</b></p> <p><b>A3. Brintatomets energiniveauer.</b>  <b>Tid: 14 lektioner (A)</b></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><b>de Broglie - bølgelængde</b>     <math>\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}</math></p> </div> <p>Elektronernes meget lille bølgelængde gør dem egnede til brug ved mikroskopi, da de bliver mindre udsat for diffraktion end lys. Normale gitre er ikke fine nok til at være nyttige, men et krystalgitter vil forårsage lignende interferenseffekter. Elektronstråler, som reflekteres fra en krystaloverflade, vil også blive reflekteret af dybere liggende molekylelag, og de således opståede reflekterede stråler kan interferere på sædvanlig vis. Der observeres maksimum intensitet for <math>\sin \theta_n = \frac{n\lambda}{2d}</math>, hvor <math>d</math> er gitterafstanden. (Bragg's lov)</p> <p>Rutherford's forsøg antyder, at atomet har en meget lille, tung, positivt ladet partikel, kaldet kernen, omgivet af elektroner.</p> <p>Atomer, som exciteres i et udladningsrør, kan udsende lys. Flere forskellige frekvenser er til stede, arrangeret i en række forskellige serier. Disse fotoner har fået deres energi fra elektroner i atomerne, som udsættes for et energitab. Den kendsgerning, at frekvenserne altid er de samme og skarpt definerede, medfører, at kun bestemte energier er mulige.</p> <p>Den betingelse, at en elektron i omløb omkring kernen må være i fase med sig selv i alle punkter af dens bane for at kunne forårsage konstruktiv interferens, medfører, at en elektron kun kan befinde sig i omløbsbaner, hvor <math>n\lambda = \frac{nh}{mv} = 2\pi r</math>. Historisk kaldes dette Bohr-betingelsen.</p> <p>Ved brug af den klassiske mekanik for elektronomløbsbaner (afsnit F.1) kan den totale energi for et brintatom beregnes som <math>E_n = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2}</math>, og de udsendte fotonfrekvenser som <math>f_{m \rightarrow n} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)</math>, hvor <math>m</math> og <math>n</math> er naturlige tal (<math>n &lt; m</math>). Dette stemmer overens med eksperimenter. Forskellige værdier af <math>n</math> giver forskellige serier. <b>Balmerlinierne</b> (fås for <math>n = 2</math>) ligger i det synlige spektrum. Ionisationsenergien er <math>E = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2}</math>.</p>	<p>Forsøg med udladningsrør.</p> <p>Diskussion af modelbegreb. Alle modeller har svagheder.</p> <p>Franck-Hertz forsøg påviser eksistensen af energiniveauer i kviksølvatomer. Kvikke klasser kan se på laser.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p><b>Afsnit N. Kernefysik.</b>  <b>N1. Elementarpartikler.</b>  <b>N1.1 Beskrivelse.</b>  <b>N2. Enheder.</b></p> <p><b>N1.3 Kernen.</b></p> <p><b>N1.4 Notation.</b></p> <p><b>N2. Kerne-reaktioner.</b>  <b>N2.1 Stabile og ustabile kerner.</b>  <b>N2.2 <math>\gamma</math>-stråler.</b></p>	<p>Repetition af pensum fra 4. klasse, afsnit N.                      Kernen består af nukleoner (protoner og neutroner). Eleverne skal have et grundlæggende kendskab til masse, ladning og sammensætning af kernen, elektroner (<math>\beta</math>-partikler) og <math>\alpha</math>-partikler.</p> <p>Atommasseenheden er u. Neutron- og protonmassen er cirka 1 u.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p>Atommasseenhed      <i>Symbol:</i> 1 u  <i>Definiton:</i>      1 u er lig 1/12 af et carbon – 12-atoms masse.</p> </div> <p>Kernen er opbygget af et antal <b>protoner</b> (<math>Z</math>) og et antal <b>neutroner</b> (<math>N</math>). Den samlede kernemasse (angivet i u) er cirka <math>A = N + Z</math>.</p> <p>En kerne med <math>N</math> neutroner og <math>Z</math> protoner repræsenteres af symbolet <math>{}^A_ZX</math> eller <math>{}_Z X^A</math>. Antallet af elektroner for et neutralt atom er lig med atomnummeret <math>Z</math>, som dermed bestemmer atomets kemiske egenskaber. Et atom kan have forskellige antal neutroner i kernen, hvilket giver forskellige <b>isotoper</b> for det samme grundstof.</p> <p>Nogle isotoper er stabile, medens andre kan henfalder spontant. Disse betegnes <b>radioisotoper</b> og siges at være <b>radioaktive</b>. Når de henfalder, udsender de fleste af dem <math>\alpha</math>- eller <math>\beta</math>-partikler.</p> <p>Ligesom atomet kan kernen eksistere i forskellige exciterede energitilstande og kan spontant overgå til en lavere energitilstand under udsendelse af energi. Denne energi udsendes i form af fotoner med høj frekvens; der er her tale om <math>\gamma</math>-stråling.</p>	<p>Tågekammer.                      Fotografisk emulsion.                      Geiger-Müller rør.</p>

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<b>N2.3 Masse-energi relationen.</b>	<p>Relativitetsteorien tillader bevarelsessætningerne for masse og energi at blive forenet i ét princip ved at formulere ækvivalensen mellem de to størrelser.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;"><b>Masse - energi relationen</b></p> <p style="text-align: center;">En masse <math>m</math> er ækvivalent med en energi <math>E = mc^2</math></p> </div>	
<b>N2.4 Massedefekt og bindingsenergi.</b>	<p>Massen af en kerne i hvile viser sig at være mindre end summen af dens bestanddele. Den størrelse, hvormed massen er reduceret, kaldes <b>massedefekten</b>, betegnet <math>m_{\text{defekt}}</math>. Masse-energi frigøres således i forbindelse med opbygningen af en kerne. Udtrykker man det i energi, kaldes det for <b>bindingsenergien</b>, og den må atter bibringes for at splitte en kerne i dens bestanddele.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;"><b>Bindingsenergi</b>      <math>E = m_{\text{defekt}} \cdot c^2</math></p> </div>	
<b>N2.5 Bindingsenergi pr. nukleon</b>	<p>Dividerer man bindingsenergien med antallet af nukleoner i kernen, vil den således fundne bindingsenergi pr. nukleon give en ide om, hvor vanskeligt det er at fjerne en nukleon og dermed oplysning om kernens <b>stabilitet</b>.</p>	
<b>N2.6 Kunstig radioaktivitet</b>	<p>Lette elementer kan på kunstig vis gøres tungere, hovedsageligt ved beskydning med neutroner og ved absorption. I nogle tilfælde vil en sådan proces gøre kernen ustabil.</p>	Stjerner.
<b>N2.7 Fission og fusion.</b>	<p>To lette kerner kan forenes til en tungere kerne, hvilket kaldes fusion. Omvendt kan en tung kerne splittes i to dele, hvilket kaldes fission. Bindingsenergien pr. nukleon som funktion af atommassen har en sådan størrelse, at lette grundstoffer eller kerner kan frigøre energi ved fusion, tunge grundstoffer energi ved fission. I særdeleshed kan fission forårsage kædereaktioner (f. eks. i Uran-235 og Plutonium). Ladning og massetal er bevaret i disse og andre kernereaktioner.</p>	

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: <i>definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.</i>	MULIGE METODER
<p><b>N2.8 Anvendelse af bevarelses-sætninger.</b></p> <p><b>N2.9 Reaktorer.</b></p>	<p>Eleverne skal være i stand til at anvende bevarelseslove for lineær impuls i problemer med kernereaktioner og kernevekselvirkninger (se 6. klasses pensum, M3.2) såvel som loven om masse-energiebevarelse. I Danmark anvendes begrebet <math>Q</math>-værdi i forbindelse med kernereaktioner. Den indføres således: For en kerne med <math>Z</math> protoner, <math>N</math> neutroner og massen <math>m</math> er massedefekten <math>\Delta m</math> defineret som</p> $m_{\text{defekt}} = Zm_p + Nm_n - m$ <p>hvor <math>m_p</math> betegner protonens masse og <math>m_n</math> neutronens masse. Bindingsenergien er da givet ved</p> $E_{\text{binding}} = m_{\text{defekt}} \cdot c^2$ <p>Ved kernereaktioner frigøres ofte energi, og denne energi kaldes processens <math>Q</math>-værdi. Ved frigørelse af energi er <math>Q &gt; 0</math>, mens <math>Q &lt; 0</math> ved absorption af energi. Der gælder derfor, at</p> $Q = -\Delta m \cdot c^2, \text{ hvor } \Delta m = m_{\text{efter}} - m_{\text{for}} \text{ er massetilvæksten ved kerneprocessen.}$ <p>Der forlanges ingen dybere forståelse af et kernekraftværks virkemåde, men eleven skal have kendskab til <b>moderatorer, brændselsstænger og kontrolstænger.</b></p>	

KAPITLER	PROGRAM SOM SKAL GENNEMGÅS: definitioner, enheder, formler og fremgangsmåde.	MULIGE METODER
<p>N3 <b>Radioaktivt henfald.</b>                      N3.1 <b>Definitioner.</b></p> <p>N3.2 <b>Eksponentielt henfald.</b>  <b>Halveringstid</b></p> <p>N3.3 <b>Radioaktive familier.</b></p> <p>Tid: 14 lektioner (N)</p>	<p>Antallet af henfald pr. sekund i en mængde radioaktivt stof kaldes for <b>aktiviteten</b>, og den er proportional med antallet af tilstedeværende kerner. Proportionalitetskonstanten kaldes for <b>henfaldskonstanten</b> <math>k</math>. Den afhænger kun af stoffet og kan tolkes som sandsynligheden for, at en kerne af stoffet henfalder i 1 sek. Derimod afhænger aktiviteten af både stof og mængde.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p><b>Aktivitet</b>                  Symbol: <math>A</math>                  Enhed : becquerel Bq</p> <p>Definition :                  Antal henfald pr. sekund</p> <p>Ligning :                  <math>A = -\frac{dN}{dt} = kN</math></p> <p><b>Henfaldskonstant</b>      Symbol: <math>k</math>                  Enhed : s<sup>-1</sup></p> <p>Definition :                  <math>k = \frac{A}{N} = -\frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt}</math></p> </div> <p>Ovenstående ligninger medfører en eksponentiel sammenhæng mellem antal atomer, masse og aktivitet af en mængde radioaktivt stof og tiden.</p> $N = N_0 \cdot e^{-kt} \quad ; \quad m = m_0 \cdot e^{-kt} \quad ; \quad A = A_0 \cdot e^{-kt}$ <p>Den tid, det tager for halvdelen af stoffet at henfalde, kaldes for <b>halveringstiden</b> og er givet ved <math>T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{k}</math></p> <p>De radioaktive familier udgående fra et grundstof ender i en stabil isotop.</p>	<p>Thorium-henfald.</p> <p>Enheder for strålingsdoser (Gray, Sievert) kan introduceres ligesom historiske og andre enheder (Curie, rem, rad).</p>