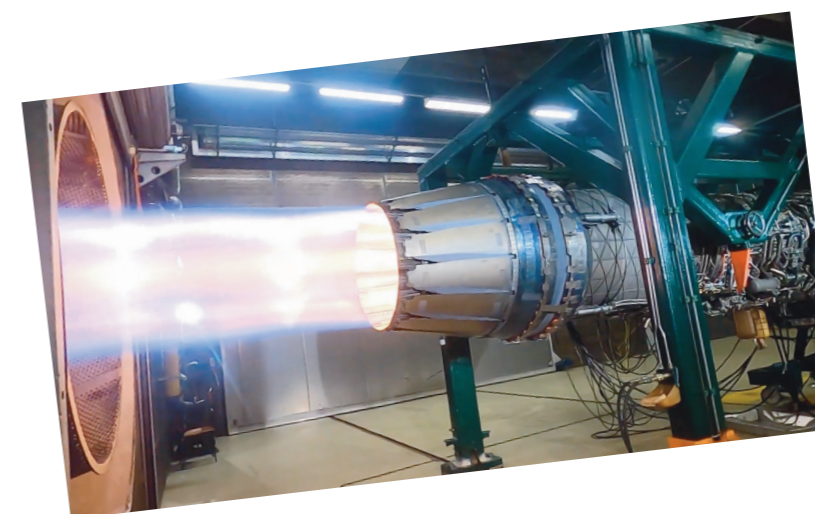




FORMLERNE BAG VERDEN 5 GASLOVENE

SE FILMEN:



I dette forløb arbejder eleverne undersøgende med gassers egenskaber og adfærd, med fokus på sammenhængen mellem tryk, volumen og temperatur. Gasser indgår i elevernes hverdag, men deres betydning er ofte usynlig: i cykeldæk, sodavandsdåser, ballonudvidelse eller forbrændingsmotorer. Forløbet gør disse fænomener konkrete og målbare, så eleverne kan udvikle deres forståelse af de naturvidenskabelige principper, der styrer gassers opførsel.

Forløbet lægger vægt på, at eleverne arbejder undersøgende gennem eksperimenter, databehandling og modellering, og at de trinvis opbygger en forklaring af gaslove, der går fra oplevelse → observation → data → model → forklaring. De tre centrale gaslove fungerer som analytiske værktøjer, eleverne kan anvende til at forklare deres resultater:

- Boyle's lov: Tryk og volumen er omvendt proportionale ved konstant temperatur.
- Charles' lov: Volumen stiger, når temperaturen stiger – ved konstant tryk.
- Gay-Lussac's lov: Trykket stiger, når temperaturen stiger – ved konstant volumen.

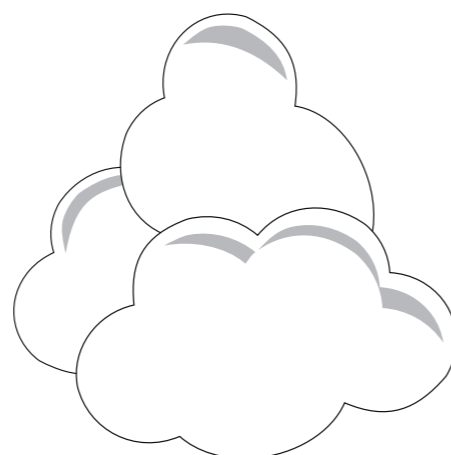
I forløbet anvendes balloner, sprøjter, flasker og simple vakuumkamre til at skabe situationer, hvor eleverne kan måle, registrere og forudsige ændringer i gasser – og dermed udvikle kompetence i at koble modeller til konkrete fænomener. Fokus på kraftpile, grafer og elevproducerede modeller understøtter arbejdet med både undersøgelses- og modelleringskompetencen.

I FORLØBET KOMMER ELEVERNE BL.A. TIL AT:

- undersøge, hvordan gasser udvider sig ved opvarmning og komprimeres ved tryk
- måle og beskrive sammenhængen mellem tryk, temperatur og volumen
- observere, hvordan trykforskelle kan skabe bevægelse og arbejde
- konstruere og anvende simple vakuumkamre og luftkompressorer
- bruge data, grafer og modeller til at forklare hverdagsfænomener som oppustning, kondensering, trykudligning og forbrænding
- opnå en intuitiv forståelse af, at gassers adfærd altid kan kobles til molekylers bevægelse og energi

BEGREBSLISTE TIL KAPITLET:

- Gaslovene
- Jetmotor
- Tryk
- Volumen
- Temperatur
- Kinetisk energi
- Molekyle
- Komprimere
- Kompressor
- Forbrændingskammer
- Efterbrænder



GASLOVENE:
FORMLERNE BAG VERDEN - NATURFAG MED FLYVEVÅBNET. EP 5

1) CHARLES' LOV

FORMÅL

At undersøge, hvordan luft udvider sig ved opvarmning og trækker sig sammen ved afkøling.

MATERIALER

- Tom plastflaske
- Ballon
- Varmt vand
- Koldt vand

FREMGANGSMÅDE

1. Sæt ballonen fast på flaskens åbning, så den lukker tæt.
2. Stil flasken i varmt vand og se, hvad der sker med ballonen.
3. Tag flasken op og sæt den derefter i koldt vand. Se, hvad der sker med ballonen.

EFTERARBEJDE

- Hvordan kan jeres observationer forklares med, hvordan luftmolekyler bevæger sig ved høj og lav temperatur?
- Tegn en model, der forklarer, hvad der sker i forsøget.
- Hvis flasken var helt stiv – fx af glas, hvad ville ændre sig i stedet for volumen – og hvorfor?
- Tegn en model, der viser dette.



2) ÆGGET OG FLASKEN

– TRYK OG TEMPERATUR

FORMÅL

At undersøge, hvordan lufttryk ændres med temperatur.

MATERIALER

- Glasflaske med smal åbning
- Kogt æg uden skal
- Tændstikker

FREM GANGSMÅDE

1. Tænd et par tændstikker og smid dem hurtigt ned i flasken.
2. Sæt straks det kogte æg på flaskens åbning, så det lukker tæt.
3. Observer, hvad der sker med ægget.



EFTERARBEJDE

Beskriv, hvad I så:

- Hvad skete der med flammen?
- Hvordan bevægede ægget sig først – og hvordan til sidst?
- Var der forskel på lydene eller bevægelserne undervejs?

Hvad sker der med luften i flasken?

- Hvordan ændres temperaturen inde i flasken, når tændstikkerne brænder?
- Hvordan påvirker det lufttrykket over tid?
- Hvorfor forsøger luften at “trække ægget med sig”?

Tegn en model af flasken og ægget i to situationer:

- Lige efter tændstikkerne brænder
(luft varm → molekyler bevæger sig hurtigt)
- Kort tid efter flammen går ud
(luft afkøles → molekyler bevæger sig langsommere)

Markér molekylernes bevægelse med lange og korte pile samt trykket inde i flasken vs. udenfor (pile ind/ud).

3) VAKUUM OG KOGEUNKT

FORMÅL

At undersøge, hvordan trykket påvirker kogepunktet for vand.

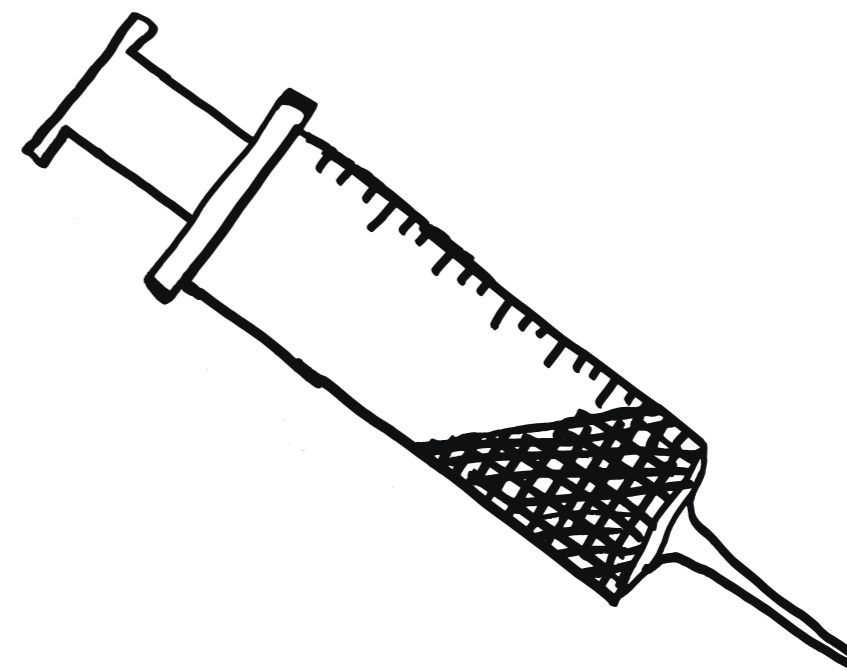
MATERIALER

- Engangssprøjte
- Varmt vand (gerne 80 grader)
- Tape

FREMGANGSMÅDE

1. Træk lidt varmt vand op i sprøjten.
2. Luk sprøjtens åbning med tape, så den bliver tæt.
3. Træk stemplet langsomt ud for at sænke trykket inde i sprøjten.
4. Observer, hvad der sker med vandet i sprøjten.

SIKKERHED: I ARBEJDER MED MEGET VARMT VAND, SÅ PAS PÅ JER SELV OG HINANDEN – INGEN LEG MED SPRØJTERNE!



EFTERARBEJDE

1. Snak om:
 - Hvad sker der med trykket i sprøjten, når I trækker stemplet ud?
 - Hvordan hænger det sammen med, at vandet begynder at koge uden at blive varmere?
2. Tegn sprøjten i to situationer – før stemplet trækkes ud og efter stemplet trækkes ud.

 Vis på tegningen molekyllernes bevægelse og trykniveau inde i sprøjten. Tegn et “zoom”, der viser, hvordan væske bliver til gas.
3. Formulér sammenhængen mellem kogepunkt og tryk i én sætning og skriv den på jeres tegning.
4. Undersøg hverdags- og naturfænomener:
 - Hvorfor koger vand hurtigere på et bjergtop end ved havoverfladen?
 - Hvorfor bruger man vakuum til at tørre mad eller frysetørre kaffe?
 - Hvordan kan astronauters rumdragter forhindre væsker i at koge i svagt tryk?

4) IMPLODERENDE SODAVANDSDÅSE

FORMÅL

At vise, hvordan tryk og temperatur hænger sammen.

MATERIALER

- Tom sodavandsdåse
- Lidt vand
- Digeltang
- Bunsenbrænder (eller varmeplade/kogeplade)
- Skål med koldt vand evt. med isterninger

FREMGANGSMÅDE

1. Hæld lidt vand i dåsen (ca. 1 cm).
2. Brug en tang til at varme dåsen op over bunsenbrænderen.
3. Når vandet damper ud af dåsen, vendes dåsen hurtigt på hovedet ned i skålen med iskoldt vand.
4. Tegn en forklaring på, hvad der sker i forsøget.



EFTERARBEJDE

1. **Diskuter**, om følgende udsagn er sande eller falske:

- Vand koger ved 100°C i forsøget.
- Dåsen presses sammen af luften udenfor.
- Dåsen kollapser, fordi der ikke er luft tilbage indeni.
- Temperaturskiftet er nødvendigt for at trykket falder.
- Trykket falder, fordi dampen kondenserer.

2. **Skriv** 5–8 linjer, hvor I med egne ord forklarer forsøget.

3. **Hvordan** ville forsøget ændre sig, hvis...

- ...dåsen vendes langsomt i koldt vand i stedet for hurtigt?
- ...vandet kun er lunkent i skålen?
- ...man ikke varmer dåsen længe nok?
- ...dåsen har et lille hul i siden?

4. **Overvej** og kom med forklaringer på disse spørgsmål:

- Hvorfor falder plastikflasker sammen i flykabinen?
- Hvorfor sidder låg fast på syltetøjsglas, der bliver sat varme i køleskabet?
- Hvorfor er trykkogere hurtigere end almindelige gryder?

5) VORTEXKANONEN

– TRYK OG BEVÆGELSE

FORMÅL

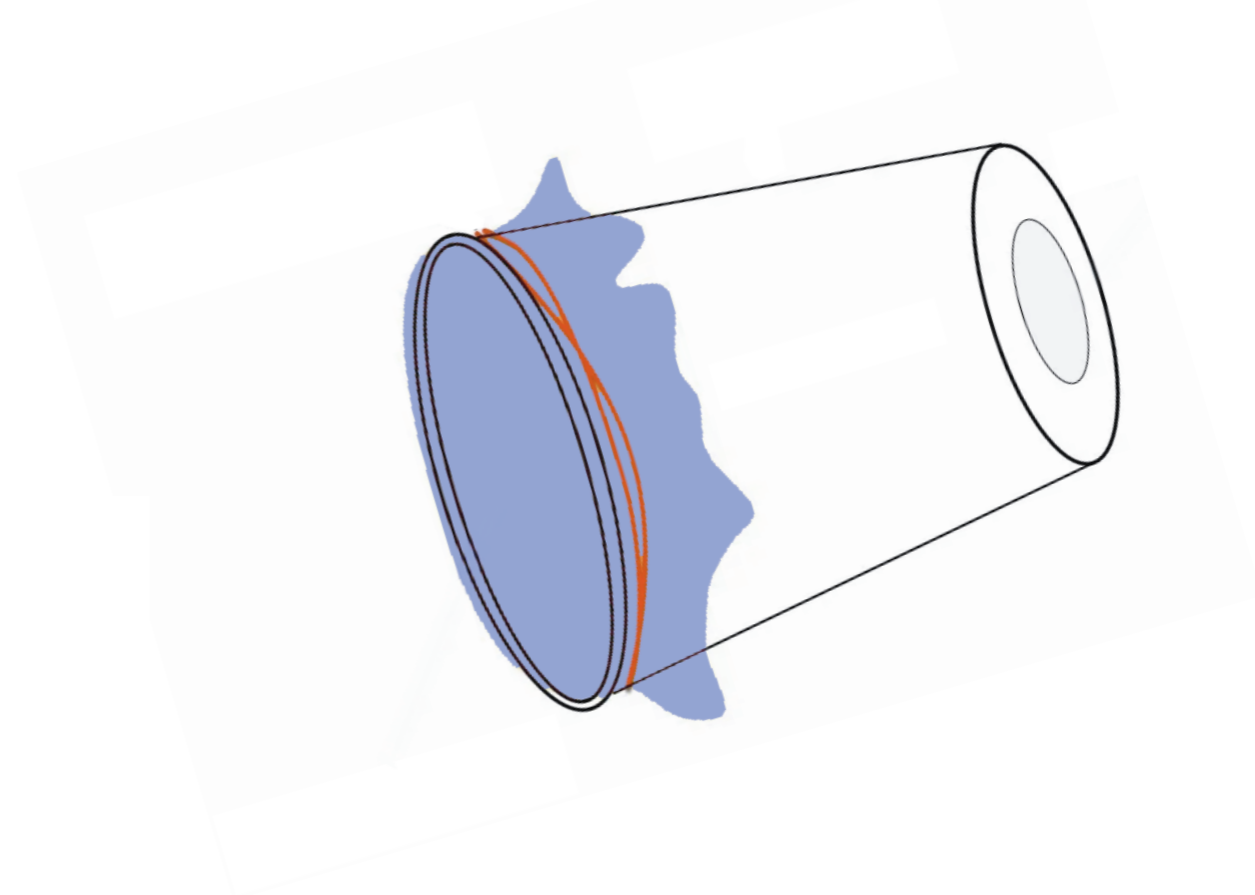
At undersøge, hvordan tryk kan overføres til bevægelse, og hvordan en pludselig trykændring kan skabe en luftbølge, der bevæger sig gennem luften.

MATERIALER

- Plastikbøtte/spand (fx 10–20 L)
- Plastik eller gummi (til at spænde over åbningen)
- Tape eller elastik
- Hobbykniv
- Røg (fra røgmaskine eller røgelse)

FREMANGSMÅDE

1. Lav et rundt hul i bunden af plastikbøtten (ca. 3–5 cm i diameter).
2. Spænd plastik/gummi stramt over den åbne ende af bøtten og fastgør med tape eller elastik. Dette kalder vi nu membranen.
3. Fyld bøtten med en lille mængde røg, så luften i bøtten bliver synlig.
4. Slå kort og kontrolleret på membranen – peg ikke kanonen mod hinanden!
5. Observer, og beskriv, hvad der sker med røgen, når den presses ud gennem hullet.
6. Hvor langt kan røgringen bevæge sig?
7. Hvad sker der, hvis man slår hårdere eller blødere?
8. Prøv at skyde luft på hinanden uden røg. I må ikke skyde mod ansigt og ører. Find på andre eksperimenter med vortexkanonen.



EFTERARBEJDE

1. Hvad gør slag på membranen ved luften i bøtten?

Skriv en årsags-virkningsætning. Den kunne begynde med “Når trykket inde i bøtten...”

2. Hvordan minder luftkanonen om:

- den imploderende sodavandsdåse?
- luft i en ballon, der slippes løs?

3. Hvad er forskellen på langsom og hurtig trykændring?

6) BALLON I FRYSER OG OVN

FORMÅL

At demonstrere, hvordan volumen ændrer sig med temperaturen.

MATERIALER

- Balloner
- Fryser
- Mikroovn, ovn eller varmt vandbad

FREMGANGSMÅDE

1. Mål ballonens omkreds på to leder.
2. Læg den oppustede ballon i fryseren i ca. 10 minutter.
3. Tag ballonen ud og mål igen omkredsen på to leder.
4. Læg ballonen i en mikroovn eller i varmt vand, og mål derefter omkredsen på to leder.



DATAOPSAMLING

BALLON 1	OMKREDS 1	OMKREDS 2	ÆNDRING I PROCENT	OBSERVATIONER
UDGANGSPUNKT				
EFTER FRYSER				
EFTER OPVARMNING				

EFTERARBEJDE

1. Skriv 4–6 linjer, hvor I forklarer:
 - hvorfor ballonen bliver mindre i fryseren
 - hvorfor den bliver større igen ved opvarmning
 - hvorfor der ikke kommer mere luft ind i ballonen, selvom den vokser
2. Diskuter, og kom med bud på, hvordan resultatet ville ændre sig, hvis:
 - ballonen var fyldt med varm luft fra starten?
 - ballonen var meget hårdt oppustet?
 - man brugte en meget stor ballon i stedet for en lille?
 - ballonen lå længere tid i fryseren?

7) JETBALLON

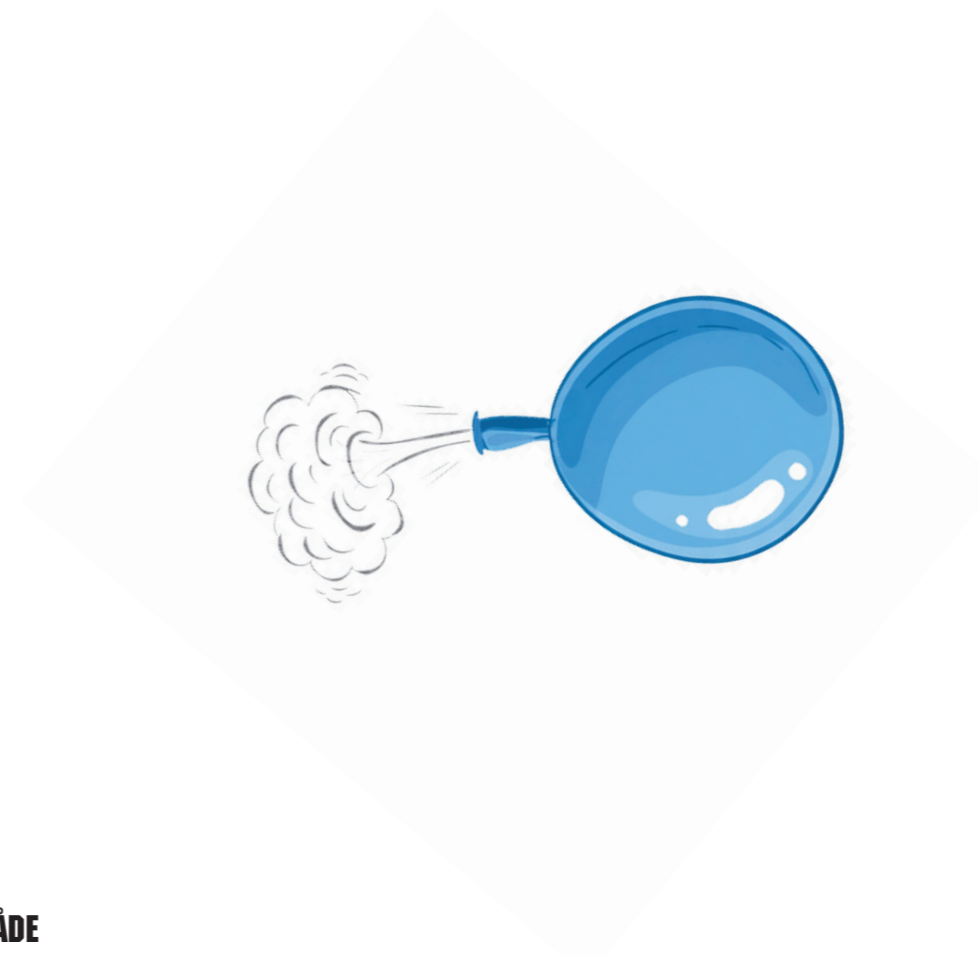
– FREMDRIFT MED GASUDVIDELSE

FORMÅL

At undersøge, hvordan udstømmende luft skaber en fremadrettet reaktionskraft.

MATERIALER

- Ballon
- Tøjklemme
- Snor
- Sugerør
- Tape



FREMGANGSMÅDE

1. Klip 10 cm af sugerøret, og træk snoren gennem røret.
2. Spænd snoren stramt mellem to punkter.
3. Pust en ballon op og luk den med en tøjklemme
4. Tape ballonen fast på sugerøret under snoren – tapen går hen over snoren og sugerøret og sidder fast på ballonen, så sugerøret med ballonen kan glide på snoren.
5. Slip ballonen, og observér, hvordan den bevæger sig langs snoren.

EFTERARBEJDE

- Tegn en model, der forklarer, hvad der sker i forsøget.
- Hjælpe spørgsmål:
- Hvordan er trykket i ballonen og uden for ballonen, mens klemmen sidder på?
- Hvad sker der med trykket, når klemmen tages af ballonen?



8) LUFTTRYK OG VÆSKEUDVIDELSE

FORMÅL

At visualisere, hvordan opvarmning af luft i et lukket system øger lufttrykket

MATERIALER

- Tom flaske
- Farvet vand (evt. med frugtfarve)
- Sugerør
- Plastfolie
- Elastik

FREMGANGSMÅDE

1. Hæld lidt farvet vand i flasken – ca. 5-10% af flaskens volumen.
2. Sæt sugerøret ned i flasken, så bunden af sugerøret er under vand, men ikke rører flaskens bund.
3. Dæk flaskens åbning med plastfolie og en elastik, så den bliver lufttæt omkring sugerøret.
4. Opvarm forsigtigt flasken, fx ved at holde den i hånden eller stille den på en varm overflade.
5. Observer, hvordan vandstanden i sugerøret stiger, når flasken varmes op.

EFTERARBEJDE

1. Diskuter, og begrund, om følgende udsagn er sande eller falske:

- “Vandet stiger, fordi luften udvider sig.”
- “Trykket i flasken er større efter opvarmning.”
- “Der kommer mere luft ind i flasken.”
- “Hvis flasken var helt stiv, ville vandet ikke stige.”

2. Diskutér, hvorfor vandstanden steg.

3. Tegn en model, der forklarer, hvad der skete i forsøget.

Hjælpe spørgsmål:

Hvordan er trykket i flasken før og under opvarmningen?

LÆRERNOTER TIL ØVELSERNE

FAGLIG FORKLARING (LÆREROPLÆG ELLER EFTERARBEJDE)

TIP:

Hvis det kniber med mængden af udstyr, kan en række øvelser udvælges og gennemføres som værkstedsundervisning. Det er også en mulighed at lade eleverne gennemføre og bearbejde en enkelt øvelse gruppevis, som de efterfølgende kan demonstrere og forklare for hele klassen.

1) CHARLES' LOV

I forsøget observerer eleverne, at ballonen udvider sig, når flasken opvarmes, og trækker sig sammen, når flasken afkøles. Dette sker, fordi luften inde i flasken øger sin volumen ved højere temperatur, hvis trykket antages at være nogenlunde konstant (ballonen kan udvide sig frit).

Den mikroskopiske forklaring er:

- Ved opvarmning bevæger luftmolekylerne sig hurtigere, kolliderer oftere og presser hinanden længere fra hinanden, så volumen øges.
- Ved afkøling bevæger molekylerne sig langsommere, fylder mindre og volumen mindskes.

Charles' lov (kvalitativt):

Når temperaturen stiger, stiger volumen – hvis trykket holdes konstant.

I en plastflaske med ballon "udlignes" trykket, fordi ballonen kan udvide sig, så systemet opfører sig som et næsten konstant tryk-system.

Eleverne ser volumenændring direkte som ændring i ballonens størrelse – en visuel og enkel vej ind i gaslove. Det er vigtigt at ekspliciteres: "Der kommer ikke mere luft ind i ballonen – luften fylder mere, fordi molekylerne bevæger sig hurtigere. Den stive flaske-tankeøvelse peger frem mod Gay-Lussac's lov, så eleverne gradvist opbygger sammenhængen mellem gaslovene.

Udvidelser og variationer

- Mål ballonens højde eller omkreds i varmt/koldt vand.
- Sammenlign 3-4 målepunkter → simpel graf af volumenindikator vs. temperatur. (Volumen er svært at måle direkte – men omkreds/højde fungerer som proxy.)
- Brug graderede vandbade (fx stuetemperatur, 40°C, 60°C, 80°C → under opsyn)
- Elever tegner forventet kurve før data forudsigelse vs. observation.

2. ÆGGET OG FLASKEN

Dette forsøg fungerer godt som bro mellem Charles' og Gay-Lussac's lov:

- Ballon + varm luft: volumen ændres (tryk næsten konstant)
- Æg i flaske: volumen næsten konstant (tryk ændres)

Når tændstikkerne brænder i flasken, opvarmes luften inde i flasken, og gassens temperatur stiger. Det får luftmolekylerne til at bevæge sig hurtigere og kolliderer hyppigere – et udtryk for øget kinetisk energi.

Mens flammen brænder, presses lidt varm luft ud af flasken (ofte usynligt gennem åbningen omkring ægget, inden det lukker tæt). Når flammen går ud, afkøles luften, molekylerne bevæger sig langsommere, og tryk og volumen falder inde i flasken, mens trykket udenfor forbliver højere. Resultatet er en trykforskel, hvor det omgivende lufttryk "presser" ægget ned i flasken.

Selvom iltforbrug ved forbrænding spiller en mindre rolle, er det trykændringen ved temperaturfald, der er den væsentligste drivkraft i forsøget. Det er derfor relevant som introduktion til temperatur-tryk-sammenhæng (Gay-Lussac's lov) og som brobygning til Charles' lov.

Lad eleverne beskrive, før de forklarer, så data kommer før teori. Elever vil ofte nævne "flammen suger luften ud" – brug dette som afsæt til at spørge ind til, hvad molekylerne faktisk gør. Brug modellering til at få eleverne til at forbinde makroniveau (æg bevæger sig) og mikroniveau (molekylernes bevægelse).

Udvidelser og variationer

Variation	Hensigt	Ekstramateriale
Brug stearinlys i stedet for tændstikker	Længere opvarmningstid → tydeligere udvidelse	Fyrfadsllys
Brug koldt vandbad efter ægget er på	Hurtigere afkøling → tydeligere trykfald og bevægelse	Skål med isvand
Brug forskellige flasketyper (vid vs smal hals)	Undersøg betydning af åbning og tæthed	Flasker af forskellig form
Mål tiden fra flamme slukker til æg bevæger sig	Kvantitativ vinkel: temperaturændring → responstid	Stopur
Mål "bevægelsesdistance" af æg efter gentagelser	Proxy for trykændring	Lineal + videoanalyse

3. VAKUUM OG KOGE PUNKT

Dette forsøg viser, at kogepunktet afhænger af trykket og ikke kun af temperaturen. Når eleverne trækker i sprøjtens stempel, øges volumen inde i sprøjten. Da mængden af luft er den samme, betyder større volumen lavere tryk – molekylerne kolliderer sjældnere med væskeoverfladen og hinanden.

Når trykket falder nok, kan vandmolekyler slippe fra væske til gasfase ved en lavere temperatur end 100°C, og vandet begynder at koge – selvom det ikke bliver varmere.

Bjergtoppe: lavere atmosfærisk tryk → lavere kogepunkt → længere kogetid for mad
 Frysetørring: lavt tryk → vand fordampes hurtigt → mad bevarer form og smag
 Astronautdragter: meget lavt tryk i rummet → kropsvæsker ville koge → dragter holder trykket oppe

Udvidelser og variationer

- Brug en vacuumklokke og log temperaturen.
- Mål tid til kogning ved forskellige starttemperaturer

4. IMPLODERENDE SODAVANDSDÅSE

Forsøget demonstrerer sammenhængen mellem temperatur, tryk og faseændringer i gasser og væsker. Når dåsen varmes, fordampes vandet, og der skabes vanddamp med høj temperatur inde i dåsen. En stor del af den oprindelige luft fortrænges ud af åbningen.

Når dåsen vendes i iskoldt vand, sker en hurtig afkøling. Vanddampen inde i dåsen kondenserer tilbage til væske, og mængden af gasmolekyler inde i dåsen falder drastisk. Det får trykket inde i dåsen til at falde hurtigt.

Det omgivende atmosfæriske lufttryk (ca. 1013 hPa) forbliver det samme, og fordi trykket udenfor nu er langt større end trykket inden i, bliver dåsen presset sammen udefra og imploderer.

Eleverne skal hjælpes til at skelne mellem "sug" og trykforskel – der er ikke noget, der suger; der er noget, der skubber. Fokuser på forskellen mellem fordampning (damp dannes) og kondensation (damp bliver til væske igen).

Brug forsøget til at bygge bro mellem tidligere gaslovsforsøg:

- "Charles' lov" → volumen kan ændre sig, når temperaturen ændres
- "Ægget og flasken" → tryk kan falde, når luft afkøles
- "Vakuumbombe og kogepunkt" → faseovergang afhænger af tryk
- "Imploderende dåse" → hurtigt kondensation giver hurtigt trykfald

På den måde bliver dette forsøg et kulminationspunkt, hvor flere gaslove og faserelationer mødes.

Udvidelser og variationer

Variation	Fokus	Pointe
Brug koldt vand vs. isvand	Afkølingshastighed	Viser betydningen af hurtig kondensation
Vend dåsen langsommere	Tidsfaktor	Trykfald bliver ikke lige så kraftigt → svag implosion
Dåse med hul	Tæthed/trykudligning	Ingen implosion → afgørende rolle af lukket system
Brug ballon over åbning før vending	Visualisering	Ballon suges ind (= trykfald) før dåsen kollapser

Find på andre variationer sammen med eleverne. Prøv at forudsige, hvad der kommer til at ske og test, om I har ret.

5. VORTEXKANONEN – TRYK OG BEVÆGELSE

I dette forsøg arbejder eleverne med, hvordan tryk kan omsættes til bevægelse i gasser, og hvordan en hurtig trykændring kan skabe en tydelig og målbar effekt i omgivelserne. I modsætning til mange andre gasforsøg, hvor trykændringer fører til udvidelse, sammentrækning eller implosion, viser vortexkanonen, at tryk også kan sætte luft i bevægelse og danne organiserede luftstrukturer.

Forsøget bygger videre på elevernes erfaringer med:

- imploderende sodavandsdåse (hurtigt trykfald → bevægelse)
- ballon og trykudligning
- ægget og flasken (trykforskel som drivkraft)

Her vendes situationen: Et hurtigt trykstød skubber luft ud, i stedet for at omgivelsernes tryk presser det ind. Dermed får eleverne et mere nuanceret billede af, hvad tryk kan gøre.

Når eleverne slår på vortexkanonens membran, skabes der en kortvarig trykforøgelse inde i bøtten. Denne trykforøgelse overføres direkte til luften, som derfor accelereres ud gennem hullet. Fordi trykændringen sker hurtigt, og fordi luften presses ud gennem en afgrænset åbning, dannes der ofte en hvirvelring (vortex).

Vortexringen opstår, fordi:

- luften i midten bevæger sig hurtigere fremad
- luften langs kanten bremses af friktion mod hullet
- forskellen i hastighed får luften til at rulle rundt om sig selv

Røgen fungerer som sporstof, der gør det muligt at se luftens bevægelse. Det er vigtigt at understrege, at det er luften, der bevæger sig – røgen synliggør blot bevægelsen.

Aktiviteten udfordrer elevernes forestilling om, at "luft ikke kan skubbe", og giver et konkret eksempel på, at luft kan overføre kraft og bevægelse.

Udvidelser og variationer

Variation	Fokus	Pointe
Slå blødt vs. hårdt	Trykændringens størrelse	Sammenhæng mellem tryk og bevægelse
Lille vs. stort hul	Strømningshastighed	Stabilitet af vortex
Tæt vs. løs membran	Energioverførsel	Stram membran → hurtig tilbagespring → kraftigt, kort trykstød Løs membran → langsommere bevægelse → svagere eller mere diffus luftbølge

Find på andre variationer sammen med eleverne. Prøv at forudsige, hvad der kommer til at ske og test derefter, om I har ret.



6. BALLON I FRYSER OG OVN

Dette forsøg giver eleverne en konkret og sanselig erfaring med, at luft ændrer volumen, når temperaturen ændres. Ballonen fungerer som et synligt og letforståeligt system, hvor temperaturændringer direkte kan aflæses som ændringer i størrelse. Forsøget bygger videre på tidligere aktiviteter om gaslove og fungerer som en tydelig illustration af Charles' lov i praksis.

Når ballonen placeres i fryseren, falder temperaturen af luften inde i ballonen. Luftmolekylerne bevæger sig langsommere, kolliderer sjældnere med ballonens inderside, og luften fylder mindre. Ballonen trækker sig derfor sammen, og dens volumen (og omkreds) bliver mindre. Når ballonen efterfølgende opvarmes, stiger temperaturen igen. Molekylerne bevæger sig hurtigere, kolliderer hyppigere med ballonens inderside og fylder mere, så ballonen udvider sig. Trykket i dette forsøg er næsten konstant, fordi ballonen er elastisk og kan udvide sig frit. Derfor er det især volumen, der ændrer sig med temperaturen, hvilket svarer til Charles' lov:

Ved konstant tryk er en gas' volumen proportional med dens temperatur.

Det er vigtigt at understrege, at der ikke kommer mere luft ind i ballonen – det er den samme luft, som blot fylder mere eller mindre afhængigt af temperaturen.

Udvidelser og variationer

- Udvid dataopsamlingskemaet, og lad eleverne gentage målingerne tre gange i hver temperatur og diskuter, hvor ens resultaterne er, og hvor stor måleusikkerheden er ved omkredsmåling. Arbejd evt. med begreber som middelværdi og spredning.
- Udvid dataopsamlingskemaet, og brug flere temperaturer (stuetemperatur, køleskab, fryser, vandbade i forskellige temperaturer).
- Undersøg, om ballonens størrelse ændrer sig yderligere ved længere tid i fryseren.

7. JETBALLON - FREMDRIFT MED GASUDVIDELSE

Jetballon-forsøget giver eleverne en konkret erfaring med, hvordan gasudstrømning kan skabe fremdrift. Forsøget fungerer som en enkel og tydelig model for reaktionskræfter og bygger bro mellem gasforsøg (tryk og udvidelse) og bevægelseslære. Eleverne kan direkte se, at bevægelse ikke kræver "noget at skubbe imod", men kan opstå som følge af, at masse forlader et system.

Forsøget egner sig godt til:

- at koble tryk og bevægelse
- at introducere eller konsolidere Newtons 3. lov (aktion-reaktion).
- at skabe forståelse for principperne bag raketter og jetmotorer

Når ballonen pustes op og lukkes med klemmen, er trykket inde i ballonen højere end lufttrykket udenfor. Luften i ballonen er sammenpresset og har derfor en tendens til at strømme ud, hvis den får mulighed for det.

Når klemmen fjernes:

- luften strømmer hurtigt ud af ballonens åbning
- den udstrømmende luft får en bevægelse bagud
- som reaktion på dette opstår der en lige så stor, men modsat rettet kraft på ballonen

Denne reaktionskraft får ballonen til at bevæge sig fremad langs snoren. Snoren fungerer her som styring, så bevægelsen bliver én-dimensionel og let at observere.



8. LUFTRYK OG VÆSKEUDVIDELSE

Dette forsøg fungerer som en enkel og meget tydelig model for et lufttermometer og giver eleverne en konkret erfaring med, hvordan opvarmning af luft i et lukket system fører til øget lufttryk. Trykændringen bliver her synlig ved, at en væske bevæger sig i et sugerør. Dermed bygges der bro mellem gasforsøg, tryk og måleinstrumenter.

Inde i flasken er der luft over vandoverfladen. Når flasken opvarmes, stiger luftens temperatur. Luftmolekylerne bevæger sig hurtigere og kolliderer hyppigere og kraftigere med flaskens inderside og med vandoverfladen. Det medfører, at lufttrykket inde i flasken stiger.

Da flasken er lukket med plastfolie, kan luften ikke slippe ud. I stedet overføres trykstigningen til vandet, som derfor presses op i sugerøret. Det er altså trykændringen, ikke selve væskeudvidelsen, der får vandstanden til at stige.

Forsøget illustrerer dermed princippet:

Når temperaturen stiger i et lukket system med konstant volumen, stiger trykket.

Dette svarer til Gay-Lussacs lov.

Udvidelser og variationer

- Køling i stedet for opvarmning: Stil flasken i koldt vand eller køleskab og observer, om vandstanden falder.
- Temperaturtrin: Sammenlign håndvarme, lunkent vand og varmt vand.
- Rørdiameter: Brug sugerør med forskellig tykkelse og se, hvordan følsomheden ændres.
- Utæt system: Lav et lille hul i plastfolien og gentag forsøget – hvad ændrer sig?
- Flere gentagelser: Brug forsøget til at tale om gentagelser og pålidelighed.



 **Danmarks
Naturfagslærerforening**